

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

DISEÑO DE UNA RED HÍBRIDA QUE INCLUYE UN ENLACE INALÁMBRICO DE TRANSMISIÓN Y RED GPON FTTH PARA BRINDAR SERVICIO DE INTERNET A LA COMUNIDAD DE CARPUELA

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación.

AUTOR:

ALEXANDER SEBASTIÁN YÉPEZ GARZÓN

DIRECTOR:

Msc. JOSÉ ROBERTO MARCILLO DEL CASTILLO

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
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:

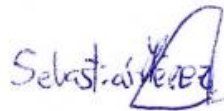
DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172641070-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Yépez Garzón Alexander Sebastián		
E-MAIL:	asyepezg@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0984461945
TÍTULO:	Diseño de una red híbrida que incluye un enlace inalámbrico de transmisión y red GPON FTTH para brindar servicio de internet a la comunidad de Carpuela		
AUTOR(ES):	Yépez Garzón Alexander Sebastián		
FECHA: dd/mm/aa	27/02/2023		
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación		
TUTOR:	Msc. José Roberto Marcillo del Castillo		

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 la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarrá, a los 20 días del mes de abril del 2023.

EL AUTOR:



Alexander Sebastián Yépez Garzón

CI: 172641070-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Ing. Roberto Marcillo del Castillo, Msc, tutor del presente Trabajo de Titulación certifica:

Que, el presente trabajo de titulación "Diseño de una red híbrida que incluye un enlace inalámbrico de transmisión y red GPON FTTH para brindar servicio de internet a la comunidad de Carpuela", fue desarrollado en su totalidad por el Sr. Alexander Sebastián Yépez Garzón, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Msc. José Roberto Marcillo del Castillo

TUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a la vida que, a pesar de todos los problemas por más difíciles que he atravesado, siempre ha sabido señalarme el camino que debo seguir; y me ha juntado con personas que de verdad me valoran a través su apoyo y consejos.

Sebastián Yépez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a todos mis profesores que me han brindado de sus conocimiento para poder desarrollarme como profesional con conocimiento y valores de responsabilidad y ética. Especialmente al los ingenieros Roberto Marcillo y Jaime Michilena que han estado pendientes del desarrollo de mi trabajo de titulación.

También agradezco a mi familia, en especial a mi madre que ha estado conmigo en todo este proceso universitario.

Y un agradecimiento a todos los amigos de verdad que he hecho en mi trayecto universitario, especialmente a Martín, Naty, Jonathan, Sofi, Cintya, Cristian, Mónica y Alejandro, porque sin ellos quizás no hubiese culminado esta etapa de mi vida.

Sebastián Yépez

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	30
ANTECEDENTES.....	30
1.1. TEMA	30
1.2. PROBLEMA	30
1.3. OBJETIVOS.....	31
1.3.1. Objetivo General.....	31
1.3.2. Objetivos Específicos.....	31
1.4. ALCANCE	32
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	34
CAPÍTULO II.....	36
MARCO TEÓRICO.....	36
2.1. INTERNET	36
2.1.1. Tipos de Conexión a Internet	36
2.1.1.1. Conexión por xDSL.....	38
2.1.1.2. Conexión inalámbrica.....	38
2.1.1.3. Conexión por fibra óptica	39
2.1.2. Unidades de potencia usadas en las Telecomunicaciones.....	40
2.1.2.1. dB	40
2.1.2.2. dBm	41
2.1.2.3. dBi.....	41
2.1.2.4. mW	42

2.2.	RADIO ENLACES.....	42
2.2.1.	Espectro radio eléctrico.....	43
2.2.2.	Bandas de Frecuencia.....	44
2.2.2.1.	Bandas de frecuencia no licenciadas.....	45
2.2.2.2.	Bandas de frecuencia licenciadas.....	48
2.2.3.	Tipos de enlaces inalámbricos.....	48
2.2.3.1.	Enlace Punto a Punto.....	49
2.2.3.2.	Enlace Punto a Multipunto.....	49
2.2.3.3.	Redes WLAN.....	50
2.2.3.4.	Puntos de Acceso inalámbrico a una red LAN.....	51
2.2.4.	Estándares para enlaces inalámbricos.....	51
2.2.5.	Estándar 802.11.....	52
2.2.5.1.	IEEE 802.11.....	52
2.2.5.2.	IEEE 802.11b.....	53
2.2.5.3.	IEEE 802.11a.....	53
2.2.5.4.	IEEE 802.11g.....	53
2.2.5.5.	IEEE 802.11n.....	53
2.2.5.6.	IEEE 802.11ac.....	54
2.2.5.7.	IEEE 802.11ax.....	58
2.2.6.	Elementos de un Radioenlace.....	58
2.2.6.1.	Radiotransmisor.....	59
2.2.6.2.	Antenas.....	61
2.2.7.	Cálculos para Radioenlace.....	66

2.2.7.1.	Potencia de Transmisión.....	66
2.2.7.2.	Pérdida en el cable.....	67
2.2.7.3.	Pérdida en los conectores.....	67
2.2.7.4.	Propagación de señales.....	67
2.2.7.5.	Línea de vista.....	67
2.2.7.6.	Pérdidas en el espacio libre.....	68
2.2.7.7.	Zona de Fresnel.....	69
2.2.7.8.	Sensibilidad del receptor.....	71
2.2.7.9.	Relación Señal Ruido.....	72
2.2.7.10.	Potencia Isotrópica radiada Equivalente.....	72
2.2.7.11.	Margen de desvanecimiento.....	73
2.2.7.12.	Presupuesto del radio enlace.....	73
2.3.	FIBRA ÓPTICA.....	75
2.3.1.	Estructura de la fibra óptica.....	75
2.3.2.	Modos de propagación de la fibra óptica.....	76
2.3.3.	Parámetros de transmisión de la fibra óptica.....	79
2.3.3.1.	Atenuación.....	79
2.3.3.2.	Pérdidas.....	79
2.3.3.3.	Dispersión.....	80
2.3.3.4.	Ventanas de transmisión de la fibra óptica.....	81
2.3.4.	Materiales de fibra óptica.....	82
2.3.4.1.	Cable de fibra óptica.....	83
2.3.4.2.	Conectores de fibra óptica.....	85

2.3.4.3.	Adaptadores de fibra óptica	88
2.3.4.4.	Tipos de pulido.....	89
2.3.4.5.	Empalmes.....	90
2.3.4.6.	Distribuidores de fibra óptica.....	92
2.3.4.7.	Cajas de empalme.....	93
2.3.4.8.	Patchcords.....	95
2.3.4.9.	Pigtails	95
2.3.5.	Instrumentos de medición de fibra óptica	96
2.3.5.1.	OPM	96
2.3.5.2.	OTDR	97
2.3.6.	Arquitectura de redes ópticas FTTx.....	98
2.3.6.1.	FTTN	99
2.3.6.2.	FTTC	99
2.3.6.3.	FTTB	99
2.3.6.4.	FTTH.....	100
2.3.7.	Tecnologías de redes PON	100
2.3.7.1.	APON	101
2.3.7.2.	BPON.....	102
2.3.7.3.	EPON.....	102
2.3.7.4.	GPON	102
2.3.7.5.	ITU-T G.984.1	103
2.3.7.6.	ITU-T G.984.2	104
2.3.7.7.	ITU-T G.984.3	104

2.3.7.8.	ITU-T G.984.4	105
2.3.8.	Arquitectura FTTH GPON.....	106
2.3.8.1.	ODN	106
2.3.8.2.	OLT	107
2.3.8.3.	ONT y ONU.....	108
2.3.8.4.	Divisor óptico.....	108
2.3.8.5.	Cálculo del presupuesto del enlace óptico.....	111
CAPÍTULO III.....		114
DISEÑO DE LA RED HÍBRIDA PUNTO A PUNTO - FTTH GPON.....		114
3.1.	SITUACIÓN ACTUAL DE REDESTEL S.A.....	115
3.1.1.	Antecedentes de la empresa	115
3.1.2.	Descripción actual de la red	116
3.1.2.1.	Red Inalámbrica	116
3.1.2.2.	Red Fibra Óptica	118
3.2.	SITUACIÓN ACTUAL DE CARPUELA	119
3.2.1.	Localización de Carpuela	119
3.2.2.	Población.....	120
3.2.2.1.	Muestra de la población.....	122
3.2.3.	Encuesta y análisis de resultados	124
3.2.3.1.	Pregunta #1	124
3.2.3.2.	Pregunta #2	125
3.2.3.3.	Pregunta #3	125
3.2.3.4.	Pregunta #4	125

3.2.3.5.	Pregunta #5	126
3.2.3.6.	Pregunta #6	126
3.2.3.7.	Pregunta #7	126
3.2.3.8.	Pregunta #8	127
3.2.3.9.	Pregunta #9	127
3.2.3.10.	Pregunta #10	128
3.3.	DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA	130
3.3.1.	Localización de las Estaciones	131
3.3.2.	Distancia entre estaciones	134
3.3.2.1.	Distancia del enlace Pimampiro – Cabras	134
3.3.2.2.	Distancia del enlace Cabras – Carpuela	135
3.3.3.	Requerimientos técnicos del radioenlace	135
3.3.4.	Elementos de la Red Inalámbrica	137
3.3.4.1.	Torres de Telecomunicaciones.....	137
3.3.4.2.	Radiotransmisores para el enlace Pimampiro - Cabras	138
3.3.4.3.	Radiotransmisores para el enlace Cabras - Carpuela	139
3.3.4.4.	Antenas para el enlace Pimampiro - Cabras	140
3.3.4.5.	Antenas para el enlace Cabras - Carpuela	142
3.3.4.6.	Switch de Core	143
3.3.4.7.	Switch de Distribución	144
3.3.4.8.	Switch de Acceso	145
3.3.5.	Presupuesto de potencia del enlace inalámbrico	145
3.3.5.1.	Cálculo del Enlace Pimampiro – Cabras	146

3.3.5.1.	Cálculo del Enlace Cabras – Carpuela	151
3.4.	DISEÑO DE LA RED FTTH GPON	155
3.4.1.	Elementos activos para la red FTTH GPON	157
3.4.1.1.	OLT	157
3.4.1.2.	ONT/ONU	158
3.4.2.	Selección de elementos pasivos para la red FTTH GPON.....	160
3.4.3.	Despliegue de la Red FTTH GPON.....	163
3.4.3.1.	Diagrama unifilar	164
3.4.3.2.	Despliegue de la red Feeder	166
3.4.3.3.	Despliegue de la red de Distribución	168
3.4.3.4.	Despliegue de la red de Dispersión	174
3.4.4.	Presupuesto de potencia óptico/Presupuesto óptico	176
3.4.4.1.	Longitud del cable de fibra óptica.....	176
3.4.4.2.	Atenuaciones presentadas en la ODN	177
3.4.4.3.	Potencia recibida por el Cliente más cercano	179
3.4.4.4.	Potencia recibida por el Cliente más lejano.....	183
CAPÍTULO IV	186
4.	SIMULACIÓN DE LA RED HÍBRIDA PUNTO A PUNTO - FTTH GPON	186
4.1.	SIMULACIÓN DE LA RED PUNTO A PUNTO	186
4.1.1.	Simulación con RadioMobile	187
4.1.1.1.	Resultados obtenidos en la simulación.....	194
4.1.2.	Simulación con Xirio Online.....	199
4.1.2.1.	Resultados obtenidos en la simulación.....	201

4.2.	SIMULACIÓN DE LA RED FTTH GPON	204
4.2.1.	Elementos utilizados en la simulación de la red FTTH GPON ...	204
4.2.1.1.	Etapa de elementos activos	204
4.2.2.	Simulación de la ruta más corta.....	206
4.2.2.1.	Resultados obtenidos en la simulación.....	210
4.2.3.	Simulación de la ruta más larga.....	214
4.2.3.1.	Resultados obtenidos en la simulación.....	217
4.2.4.	Conclusión de los resultados del diseño y simulación de la red FTTH GPON	221
CAPÍTULO V.....		222
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	222
5.1.	RESULTADOS DEL DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA	222
5.2.	RESULTADOS DEL DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED FTTH GPON.....	223
5.3.	ANÁLISIS FINANCIERO DE LA RED HÍBRIDA.....	225
5.3.1.	Egresos presupuestados en los equipos de la red híbrida.....	225
5.3.2.	Egresos presupuestados para el personal técnico	226
5.3.3.	Egresos presupuestados para la movilización y alimentación.....	227
5.3.4.	Egreso total presupuestado para la red híbrida	228
5.3.5.	Egresos mensuales estimados en el servicio de internet con la red híbrida	228
5.3.6.	Ingresos mensuales estimados en el servicio de internet con la red híbrida	229
5.3.7.	Flujos de caja netos por año	230

5.4.	EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN REQUERIDA PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED	
	HÍBRIDA	234
5.4.1.	VAN	234
5.4.2.	TIR	235
5.4.3.	PRI	237
5.4.4.	C/B	238
	CAPÍTULO VI	240
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRABAJO REALIZADO	240
6.1.	CONCLUSIONES	240
6.2.	RECOMENDACIONES	241
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	243
	ANEXOS	259

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	37
Figura 2	38
Figura 3	39
Figura 4	40
Figura 5	41
Figura 6	43
Figura 7	44
Figura 8	48
Figura 9	49
Figura 10	49
Figura 11	50
Figura 12	51
Figura 13	55
Figura 14	55
Figura 15	59
Figura 16	62
Figura 17	62
Figura 18	63
Figura 19	64
Figura 20	64
Figura 21	66
Figura 22	69
Figura 23	74

Figura 24	75
Figura 25	77
Figura 26	78
Figura 27	78
Figura 28	81
Figura 29	82
Figura 30	83
Figura 31	84
Figura 32	85
Figura 33	86
Figura 34	86
Figura 35	87
Figura 36	88
Figura 37	88
Figura 38	89
Figura 39	91
Figura 40	91
Figura 41	92
Figura 42	93
Figura 43	94
Figura 44	94
Figura 45	95
Figura 46	95

Figura 47	96
Figura 48	97
Figura 49	97
Figura 50	100
Figura 51	101
Figura 52	105
Figura 53	106
Figura 54	107
Figura 55	107
Figura 56	108
Figura 57	109
Figura 58	110
Figura 59	111
Figura 60	115
Figura 61	119
Figura 62	120
Figura 63	121
Figura 64	130
Figura 65	131
Figura 66	133
Figura 67	134
Figura 68	135
Figura 69	137

Figura 70	139
Figura 71	140
Figura 72	141
Figura 73	141
Figura 74	142
Figura 75	142
Figura 76	143
Figura 77	144
Figura 78	145
Figura 79	145
Figura 80	149
Figura 81	153
Figura 82	155
Figura 83	156
Figura 84	157
Figura 85	159
Figura 86	166
Figura 87	167
Figura 88	168
Figura 89	169
Figura 90	170
Figura 91	171
Figura 92	172

Figura 93	174
Figura 94	178
Figura 95	179
Figura 96	180
Figura 97	180
Figura 98	181
Figura 99	181
Figura 100	183
Figura 101	187
Figura 102	188
Figura 103	188
Figura 104	189
Figura 105	189
Figura 106	190
Figura 107	190
Figura 108	191
Figura 109	192
Figura 110	192
Figura 111	193
Figura 112	193
Figura 113	194
Figura 114	195
Figura 115	197

Figura 116	199
Figura 117	200
Figura 118	201
Figura 119	201
Figura 120	202
Figura 121	202
Figura 122	206
Figura 123	207
Figura 124	207
Figura 125	208
Figura 126	209
Figura 127	209
Figura 128	210
Figura 129	211
Figura 130	211
Figura 131	212
Figura 132	213
Figura 133	214
Figura 134	214
Figura 135	215
Figura 136	215
Figura 137	216
Figura 138	216

Figura 139	217
Figura 140	218
Figura 141	219
Figura 142	219
Figura 143	220
Figura 144	236

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	37
Tabla 2	45
Tabla 3	57
Tabla 4	60
Tabla 5	60
Tabla 6	68
Tabla 7	76
Tabla 8	82
Tabla 9	85
Tabla 10	90
Tabla 11	98
Tabla 12	110
Tabla 13	111
Tabla 14	112
Tabla 15	117
Tabla 16	117

Tabla 17	118
Tabla 18	118
Tabla 19	122
Tabla 20	128
Tabla 21	132
Tabla 22	132
Tabla 23	136
Tabla 24	136
Tabla 25	138
Tabla 26	150
Tabla 27	154
Tabla 28	157
Tabla 29	159
Tabla 30	161
Tabla 31	168
Tabla 32	173
Tabla 33	175
Tabla 34	176
Tabla 35	178
Tabla 36	179
Tabla 37	182
Tabla 38	184
Tabla 39	196

Tabla 40	198
Tabla 41	203
Tabla 42	203
Tabla 43	204
Tabla 44	213
Tabla 45	221
Tabla 46	225
Tabla 47	227
Tabla 48	227
Tabla 49	228
Tabla 50	229
Tabla 51	230
Tabla 52	231
Tabla 53	231
Tabla 54	233

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	41
Ecuación 2	42
Ecuación 3	65
Ecuación 4	68
Ecuación 5	70
Ecuación 6	71
Ecuación 7	71

Ecuación 8	72
Ecuación 9	72
Ecuación 10	73
Ecuación 11	74
Ecuación 12	112
Ecuación 13	122
Ecuación 14	152
Ecuación 15	234
Ecuación 16	236
Ecuación 17	237
Ecuación 18	239

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está basado en el tema de diseño de una red híbrida que incluye un enlace inalámbrico de transmisión y una red GPON FTTH para brindar servicio de internet a la comunidad de Carpuela; que se desarrolló en dos etapas, la primera etapa comprendió el diseño de una red inalámbrica con transmisión mediante radioenlace y la segunda etapa fue el diseño de una red de fibra óptica hasta el hogar mediante la tecnología GPON.

El objetivo principal del presente proyecto a desempeñar consistió en realizar el diseño de una red híbrida desplegada desde el proveedor de servicio de internet REDESTEL S.A. cuyo nodo principal se encuentra en la ciudad de Pimampiro, desde el cual mediante transmisión vía microondas enviará la señal de internet hasta una antena repetidora localizada en el cerro Cabras para retransmitir la señal recibida hasta la estación ubicada en la comunidad de Carpuela, desde allí se desplegará una red FTTH con tecnología GPON para llegar a los clientes finales que soliciten el servicio.

La metodología implementada para el desarrollo de este trabajo de titulación se la conoce como Waterfall o metodología en cascada, que está basada en el desarrollo secuencial de fases, es decir que para comenzar una nueva fase del proyecto se culminó la fase anterior. El primer paso fue la fase de requerimientos, donde se delimitó el problema enfocado en la disponibilidad de un servicio de internet de calidad y estable que permita realizar con éxito labores como teletrabajo o teleeducación a causa de la pandemia en sectores rurales que por lo general cuentan con internet inalámbrico o por módem telefónico porque las empresas con fibra óptica no suelen llegar a estos sitios pequeños. Con el problema en mente se estableció la solución mediante el estado del arte y un marco teórico que contó con información específica para brindar una solución a la problemática descrita. El siguiente paso es el diseño de la solución en base a la

recopilación de información para el despliegue de la tanto inalámbrica como FTTH GPON, para después realizar cálculos teóricos y la simulación para comprobar teóricamente el nivel de éxito del proyecto, tomando en cuenta que llegar a Carpuela desde Pimampiro mediante radioenlace era imposible, por lo que se implementó una estación repetidora en el cerro Cabras; también se pudo evidenciar que la red debe estar disponible para 200 usuarios según los datos obtenidos en la investigación acerca del número de familias posicionadas en este sector. Una vez demostrado teóricamente que el proyecto puede llegar a ser implementado en un futuro, se procedió a analizar la viabilidad del proyecto a través de herramientas financieras conocidas como VAN, TIR, PRI, C/B y estableciendo una proyección para 100 clientes iniciales y una tasa de incremento mensual de usuarios del 3% para lograr recuperar la inversión inicial en aproximadamente 3 años. Finalmente se cerró el proyecto con las conclusiones y recomendaciones finales obtenidas en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

ABSTRACT

The present final project is based on the design of a hybrid network that includes a wireless transmission link and a GPON FTTH network to provide the internet service to the Carpuela community. The project was developed in two stages, the first stage involved the design of a wireless network with a radio link transmission and the second stage was the design of an FTTH optical fiber network using GPON technology. The main objective of the project was to design a hybrid network deployed from the internet service provider REDESTEL S.A., whose main node is located in the city of Pimampiro. The signal of the internet will be sent by microwave transmission to a repeater antenna located on Cerro Cabras to retransmit the received signal to the station located in the Carpuela community. From there, an FTTH network with GPON technology will be deployed to reach the end customers who request the service.

The methodology implemented for the development of this graduation project is known as Waterfall or cascading methodology, which is based on the sequential development of phases. The first step was the requirements phase, where the problem was defined focusing on the availability of a quality and stable internet service that allows successful teleworking or tele-education in rural areas. With the problem in mind, a solution was established through the state of the art and a theoretical framework that included specific information to provide a solution to the described problem. The next step was the design of the solution based on the collection of information for the deployment of both wireless and GPON FTTH networks, and then performing theoretical calculations and simulations to theoretically verify the level of project success, taking into account that reaching Carpuela from Pimampiro via radio link was impossible, so a repeater station was implemented on Cerro Cabras. It was also evident that the

network should be available for 200 users according to the data obtained in the research on the number of families located in this sector.

Once it was theoretically demonstrated that the project could be implemented in the future, the viability of the project was analyzed through financial tools known as VNA, TIR, PRI, C/B, and establishing a projection for 100 initial customers and a monthly user growth rate of 3% to recover the initial investment in approximately 3 years. Finally, the project was closed with the conclusions and final recommendations obtained in the development of this graduation project.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1. Tema

Diseño de una red híbrida que incluye un enlace inalámbrico de transmisión y red GPON FTTH para brindar servicio de internet a la comunidad de Carpuela.

1.2. Problema

En la actualidad, el mundo entero tiene fija su vista en la era digital, viviendo minuto a minuto en internet gracias al uso de las nuevas tecnologías y las Telecomunicaciones, llegando a ser este último un recurso muy importante que ha venido posicionándose en los últimos años en campos como el laboral, educativo y la medicina, formando así parte de la vida de las personas, volviéndose una necesidad como los servicios de agua o luz. (Chavarri, 2020)

De acuerdo con (Del Alcázar, 2021), “Ecuador cuenta con un 80,1% (14,25 millones) de usuarios con acceso a Internet”, demostrando así la brecha digital que existe en el país, siendo más notoria con la llegada de la pandemia en 2020 debido a que las estrategias utilizadas para poder reanudar las actividades a pesar del confinamiento fueron en su mayoría sostenidas por las Telecomunicaciones. Sin embargo, si se toma en cuenta sólo el campo de la educación, según (López V. , 2021), sólo el 37% de los escolares de Ecuador cuenta con Internet en los hogares, dificultando el acceso a las clases digitales a este otro 63% generalmente por falta de conectividad.

Otro escenario en el que se ven afectados los usuarios que utilizan el servicio de internet es el incremento del tráfico de éste dentro de los hogares, que desde el 17 de marzo de 2020 se convirtió en una rutina cotidiana, accediendo 4 o más personas al mismo tiempo al internet por causa de la teleeducación y el teletrabajo, por lo que las velocidades de conexión de hasta aproximadamente 10 Mbps ofrecida por

servicios de internet inalámbrico o cobre es insuficiente (El Universo, 2020). La mejor opción es la migración a una red de fibra óptica para obtener una mejor velocidad de navegación, sin embargo, el inconveniente con esta tecnología es la cobertura que ofrecen los Proveedores de Servicio de Internet FTTH, porque a diferencia de los otros tipos de servicio, para fibra óptica se requiere la implementación de una infraestructura por parte de un ISP. Al tomar como referencia los pueblos, villas y lugares rurales, todos estos se ven limitados en cuestión a los servicios de Internet en su mayoría por su localización, tomando como referencia la comunidad de Carpuela, servicios de internet inalámbrico son la mejor opción, sin embargo, la demanda de este servicio dentro de los hogares lo limita al no poder cubrir las conexiones entre teletrabajo, teleeducación y navegación en general.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una red híbrida desplegada desde el ISP REDESTEL S.A. mediante un enlace inalámbrico Punto a Punto Pimampiro – Repetidora Cabras – Carpuela para llegar a los hogares a través de fibra óptica GPON FTTH.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Examinar la situación actual de las tecnologías implementadas para los Servicios de Internet inalámbrico y fibra óptica mediante el estado del arte basado en redes xPON, FTTx y enlaces inalámbricos Punto a Punto.
- Analizar las condiciones y requerimientos para el despliegue de una red WWAN y la red GPON mediante Google Earth.
- Establecer los criterios de diseño de la Red híbrida en etapas inalámbrica y fibra óptica según los estándares IEEE 802.11 e ITU-T G.984.x.

- Simular la primera etapa de la red WWAN mediante los softwares RadioMobile y Xirio Online para obtener los criterios de diseño adecuados.
- Simular la segunda etapa de la red mediante el software Optisystem para la obtención de parámetros de calidad de servicio, nivel de potencia, atenuaciones de los materiales usados en la red GPON.
- Evaluar los resultados obtenidos de la red híbrida mediante el análisis de factibilidad y costo-beneficio para su futura implementación.

1.4. Alcance

El presente trabajo de titulación comprende el diseño de una red de Internet híbrida distribuida en dos bloques, el primero estará formado por un enlace inalámbrico Punto a Punto (WWAN) desde el ISP REDESTEL S.A. ubicado en el cantón Pimampiro, cuyo punto de Acceso transmitirá hasta una antena repetidora ubicada en el Cerro Cabras y poder alcanzar el otro Punto de acceso ubicado en la comunidad de Carpuela; el segundo bloque del diseño constará de una red GPON desplegada hacia los hogares con el fin de disminuir la brecha digital en las zonas rurales.

Por lo tanto, para desarrollar el diseño de la red de internet se escogió la comunidad de Carpuela que forma parte de la Parroquia de Ambuquí y cuyo número de habitantes total es de aproximadamente 692 personas, conformando un total aproximado de 199 familias, de acuerdo con (De Jesús, 2021), para las cuales se pretende contribuir con un servicio de calidad de Internet que la tecnología GPON es capaz de ofrecer velocidades de hasta 2.5 Gbps en Down link y 1.25 Gbps en Up link.

Al hablar de una red híbrida de internet, estará formada por dos bloques:

El primer bloque comenzará con la revisión de las características topográficas de la zona a la que se desea llegar por medio de un enlace inalámbrico. Se realizarán diferentes estudios comenzando por conocer

la disponibilidad de la línea de vista entre el enlace Pimampiro - Carpuela mediante el Software RadioMobile y la herramienta Google Earth. Además, se realizará la simulación de una red WWAN con el software Xirio Online con el fin de obtener criterios de diseño como la potencia radiada de las antenas, la distancia entre puntos de acceso, retardos, pérdidas en la propagación de las señales, entre otros. De acuerdo con la norma IEEE 802.11 se establecerán las normas requeridas para este tipo de red.

Para el diseño del segundo bloque se enfoca en el despliegue y tendido de la fibra óptica en el pueblo de Carpuela, tomando en cuenta la disponibilidad de posteroío y los permisos correspondientes para una futura implementación de la red de fibra óptica dentro de la comunidad de acuerdo con los criterios y recomendaciones establecidas dentro del estándar de la ITU-T en la sección G.984.x.

Para establecer el número de usuarios que podrán acceder al servicio sin que este disminuya su calidad en la red GPON FTTH se utilizará el software Optisystem para la simulación, donde se tomarán en cuenta todos los parámetros requeridos en la Red de Distribución Óptica, como lo son los elementos activos, pasivos y sus respectivos niveles de potencia y atenuación de cada uno de éstos tomando en cuenta el número aproximado de usuarios que soliciten el servicio. La arquitectura del diseño preliminar se encuentra detallada en el Anexo 1.

Con toda la información obtenida se procederá a establecer un presupuesto económico aproximado con todos los elementos involucrados en la red GPON y equipos de Última Milla, al igual que las antenas inalámbricas que forman parte de la red Punto a Punto y dependiendo del tipo de antenas se verificará la frecuencia con la que estas trabajan, sean licenciadas o no licenciadas.

Por último, documentar los resultados obtenidos en el diseño de la red de Internet para estudiar la factibilidad para una futura implementación al igual que todas las conclusiones y recomendaciones que se han ido generando durante el desarrollo del trabajo de titulación.

1.5. Justificación

Se ha escogido este tema de proyecto en vista de la realidad que se vivió en los últimos dos años por causa de la pandemia, donde el acceso a las TICS en los hogares fue un obstáculo tanto en zonas rurales como urbanas del país al intentar adoptar medidas contra la cuarentena, según (Dávalos, 2020) “los hogares ecuatorianos tienen una penetración de Internet en el área rural del 16,6%, mientras en la zona urbana supera el 46,1%”, dificultando la vida diaria en momentos de pandemia, a esto se suma la desigualdad digital al ser las bajas velocidades de conexión con las que cuentan algunos usuarios aumentando así las condiciones de exclusión al teletrabajo y la teleeducación.

Por lo tanto, para poder mitigar un poco la falta de acceso a los servicios de telecomunicaciones en las zonas rurales se optó por llegar a la comunidad de Carpuela con un servicio de Fibra óptica para los hogares, porque a pesar de ya contar con servicio de internet, la capacidad de transmisión es insuficiente al contar con una tecnología guiada por cobre o en otros casos al ser un servicio inestable por medio de radio enlaces. Sin embargo, debido a la ubicación territorial de esta comunidad es un poco costoso el despliegue de fibra óptica de algún ISP que se encuentre cerca, por lo que una opción viable y que no requiera de un capital económico elevado para su implementación es realizar un enlace punto a punto mediante antenas microonda de gama alta para crear un enlace WWAN robusto y llegar hacia la comunidad desplegando una red GPON desde la antena receptora hasta los abonados.

Se optó por uso de los servicios de la empresa REDESTEL S.A. la cual cuenta con un nodo central en la ciudad de Pimampiro, por lo que la línea de vista entre la comunidad y la ciudad se ve interrumpida por los cerros y montes, así que, mediante la implementación de una antena repetidora ubicada en el cerro Cabras, lugar donde se encuentran instaladas varias antenas de otros proveedores de servicio se podrá contar con una línea de vista despejada para la transmisión, además de ser este cerro un punto estratégico para poder brindar a futuro un servicio de internet para las ciudades de Carchi.

Para llegar con el servicio de internet a los hogares de la comunidad de Carpuela una vez establecida la comunicación Punto a Punto se implementará un nodo secundario donde se transformará la señal electromagnética recibida en luz mediante una mini OLT de 8 puertos con capacidad de brindar servicio a 128 abonados por cada puerto, de cuales, se usarán 2 puertos para abastecer a la comunidad al ser un total aproximado de 200 familias (De Jesús, 2021).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realizará una explicación de los temas requeridos para la elaboración del proyecto de titulación mediante el estado del arte, por lo tanto, se han recopilado proyectos similares que han sido desarrollados con anterioridad. Por lo tanto, de acuerdo con la información investigada se consideraron temas relacionados a Internet, con el fin de conocer el desarrollo tecnológico que ha sufrido esta herramienta a través de los años; Enlaces inalámbricos mediante antenas de largo alcance utilizando el estándar 802.16 y; Conexión a Internet mediante la tecnología FTTH por medio de una red GPON.

2.1. Internet

Internet es una herramienta que según su abreviatura de los términos “Interconnect” y “Network” se la puede definir como una enorme red global interconectada que nace de la necesidad de comunicar dispositivos asociados a una red lógica única a distancias lejanas.

Sus orígenes se remontan a 1969, cuando se estableció la primera conexión de computadoras conocida como ARPANET, entre tres Universidades en California y otra en Utah, Estados Unidos (Sevilla, 2020).

2.1.1. Tipos de Conexión a Internet

Dentro del servicio de Telecomunicaciones han surgido diferentes tecnologías que permiten el acceso a la Red y se han ido clasificando de acuerdo con el soporte físico utilizado como se muestra en la **Figura 1**, siendo el cobre la técnica de acceso más utilizada en la historia, en un inicio para los servicios de telefonía.

Figura 1

Tipos de conexión a Internet (Radioenlace – Cobre – Fibra óptica)



Autor: (NetLine, 2020)

A continuación, se detalla en la **Tabla 1** los tipos de red utilizados según el medio, el tipo de transmisión, su velocidad y la distancia máxima recomendable.

Tabla 1

Tipos de red según el medio

Medio	Nombre	Tipo de Transmisión	Velocidad	Distancia máxima
Físico	Cable coaxial	Señal eléctrica	Hasta 10 Mb/s	185 metros
	Par trenzado	Señal eléctrica	Hasta 1 Gb/s	< 100 metros
	Fibra óptica	Haz de luz	Hasta 1 Tb/s	< 2 Kilómetros
Sin cables	Wi-Fi	Ondas electromagnéticas	Hasta 100 Mb/s	< 100 metros
	Wi-MAX	Ondas electromagnéticas	Hasta 100 Mb/s	< 20 Kilómetros
	Bluetooth	Ondas electromagnéticas	Hasta 3 Mb/s	10 metros

Fuente: (Sevilla, 2020)

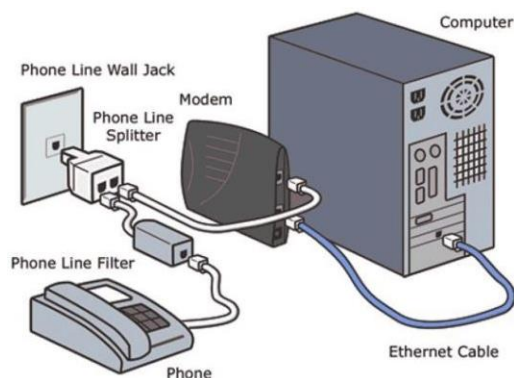
2.1.1.1. Conexión por xDSL

Digital Subscriber Line o xDSL (por sus siglas en inglés) es una conexión suministrada a través de la red telefónica convencional cuyo funcionamiento radica en el uso de un módem, el cual convierte la información en una señal eléctrica que la transforma en una frecuencia diferente a la utilizada para la voz (Sevilla, 2020), separando de esta manera la señal telefónica con la de internet que en comparación con su tecnología predecesora Dial Up, es posible utilizar el teléfono y navegar por internet al mismo tiempo.

Una de las desventajas presentadas en este tipo de acceso a la red era la lentitud de la navegación en horas pico cuando muchos usuarios accedían simultáneamente al servicio, puesto que xDSL funciona como servicio compartido tal y como se observa en la **Figura 2**.

Figura 2

Conexión xDSL



Autor: (BlogCCNA, s.f.)

2.1.1.2. Conexión inalámbrica

La conexión inalámbrica o conexión por radio es un tipo de acceso a la red cuya función es enviar las señales en forma de ondas electromagnéticas cuyo origen y destino de dichas señales son procesadas entre terminales de Telecomunicaciones (antenas).

Este tipo de transmisión no guiada tiene su uso cuando la señal no puede llegar a su destino a través de cualquier medio guiado por exceder la distancia recomendada del cable, por no contar con una infraestructura debido a su costo o cuando la transmisión requiere movilidad. (Fernández, 2014). En este tipo de acceso están incluidas las modalidades Wi-Fi y Wi-MAX. En la **Figura 3** se muestran diferentes dispositivos conectados a una red Wi-Fi.

Figura 3

Conexión Wi-Fi



Autor: (OpticalNetworks, 2022)

2.1.1.3. Conexión por fibra óptica

Este tipo de acceso guiado a diferencia de otros que usan el cobre como medio de transmisión, está constituido un hilo muy angosto y compacto fabricado en plástico o vidrio que permite el paso de múltiples rayos de luz que transportan datos a grandes velocidades. Este proceso es realizado mediante la conversión de señales eléctricas a señales ópticas por medio de un dispositivo foto emisor que viajan al destino y los recibe un dispositivo foto detector que lo decodifica y convierte esa señal en impulsos eléctricos (Altamar, 2021). Como se muestra en la **Figura 4**.

Figura 4

Tecnología de fibra óptica



Autor: (Tapia, 2018)

2.1.2. Unidades de potencia usadas en las Telecomunicaciones

En el ámbito de las telecomunicaciones es muy común hablar de la potencia de una señal conocida cuya unidad es el decibel-mili Watt, así como la atenuación de una señal expresada en decibeles. Las unidades más utilizadas están presentadas a continuación:

2.1.2.1. *dB*

Decibel es una unidad relativa de una señal muy utilizada para calcular niveles de señales eléctricas de forma logarítmica permitiendo la especificación del rendimiento a través de un amplio rango de voltaje/potencia. Los decibeles facilitan los cálculos al poder sumar y restar valores entre ellos. Matemáticamente, el dB equivale a 10 veces el BEL (nombrado por Alexander Graham Bell), definido como 10 veces el logaritmo decimal de la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. (Pérez P. , 2017)

2.1.2.2. dBm

Es la unidad de medida más comúnmente usada en las telecomunicaciones para poder expresar la potencia absoluta por medio de una relación logarítmica entre el nivel de potencia en decibelios y un nivel de referencia de 1 mili Watt. (Guzmán, 2012)

En caso de tener una potencia expresada en Watts, es posible transformarlo mediante la

Ecuación 1:

Ecuación 1

$$P[\text{dBm}] = 10 * \log_{10} \frac{P [\text{W}]}{1[\text{mW}]}$$

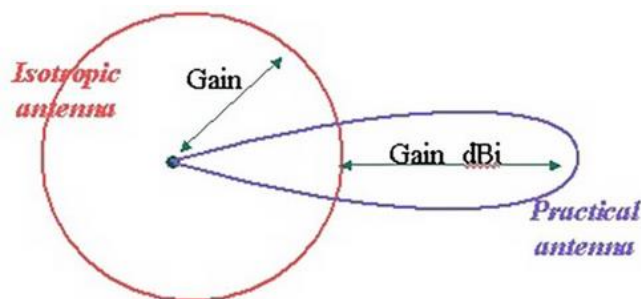
2.1.2.3. dBi

Se refiere a la ganancia de una antena en dB por encima de un radiador isotrópico, se utiliza comúnmente para medir el rendimiento de las antenas comparándolas con una antena teórica cuya energía es irradiada por todas las direcciones de manera uniforme (isotrópica).

La **Figura 5** define mejor el concepto de dBi comparando la señal de una antena real con una isotrópica, tomando en cuenta que, a mayor valor de dBi, menos ángulo de apertura tendrá la ganancia haciendo que su señal sea más direccional. (Fmuser, 2020)

Figura 5

Ejemplo de dBi



Autor: (Fmuser, 2020)

2.1.2.4. *mW*

Un mili Vatio comprende una milésima parte de un vatio (W), el cual es una medida de potencia que equivale a la cantidad de energía necesaria para ejercer un Joule de trabajo por segundo. También se lo puede definir como una muy pequeña señal de medida estándar que sirve como referencia para calcular los niveles de señal analógica en una red de telecomunicaciones.

La **Ecuación 2** define el cálculo de potencia expresado en mili vatios (mW) como la inversión de la fórmula para el cálculo de dBm.

Ecuación 2

$$P[mW] = 10^{(P[dBm]/10)}$$

2.2. Radio enlaces

Un radio enlace es un método de comunicación electrónica inalámbrica que permite proveer de conexión dentro de una Red de Área Local o una Red de Internet, siendo un lugar remoto o de difícil acceso donde se dificulte la comunicación cableada. También puede usarse como un medio para extender una red mediante puntos de Acceso inalámbricos como Wi-Fi. (FIIXCOM, 2022)

Según el tipo de modulación utilizada en los radioenlaces, podemos clasificarlos en dos categorías:

- **Radio enlaces analógicos:** Este tipo de radio enlaces fueron las primeras señales emitidas donde la portadora es modulada en frecuencia o FM. (González, 2018)
- **Radio enlaces digitales:** Este tipo de radio enlaces se caracteriza por permitir la regeneración de datos y tener una mayor tolerancia ante ruido e interferencias. Estas

señales se crean por medio de la modulación por conmutación de Fase (PSK) o por amplitud de cuadratura (NQAM) (González, 2018).

En la **Figura 6** se observa cómo funcionan los enlaces digitales, tanto Punto a Punto como Punto a Multipunto.

Figura 6

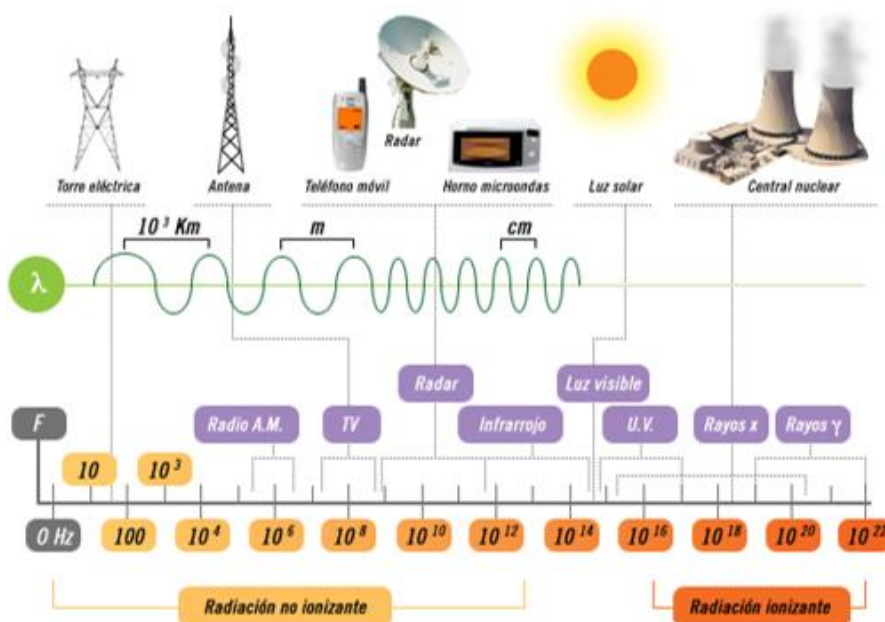
Radio enlaces



Autor: (TrafficNet, 2020)

2.2.1. Espectro radio eléctrico

El sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) tiene la tarea de determinar las características técnicas y los procedimientos operativos de una gama cada vez mayor de servicios de radiocomunicaciones, que hacen uso del espectro de frecuencias radioeléctricas, el cual es un recurso natural finito, cada vez más solicitado, debido al rápido desarrollo de la tecnología y a la enorme popularidad de las comunicaciones inalámbricas. En la **Figura 7** se observa el espectro radioeléctrico.

Figura 7*Espectro radioeléctrico*

Autor: (BirtLH, s.f.)

De acuerdo con (Gutiérrez, 2020), el espectro de frecuencia se lo ve como un bien público y cuyo uso debe estar sujeto a la regulación gubernamental, con el pago de una cuota y la obligación de cumplir con las respectivas reglamentaciones.

2.2.2. Bandas de Frecuencia

La porción del espectro de frecuencias radioeléctricas adecuada para las comunicaciones se divide en bloques, cuyo tamaño varía según las necesidades de cada servicio. Estos bloques se llaman “Bandas de Frecuencias” y se atribuyen a los servicios en régimen exclusivo o compartido. La lista completa de servicios y de bandas de frecuencias atribuidas a los mismos en las diferentes regiones constituye el Cuadro de Atribución de Frecuencias, que a su vez forma parte del Reglamento de Radiocomunicaciones. La **Tabla 2** presenta el cuadro de atribuciones de frecuencias del espectro radioeléctrico.

Tabla 2*Cuadro de Atribución de Frecuencias Radioeléctricas*

Banda	Denominación	Rango de Frecuencia	λ máximo	λ mínimo	Principal utilización
VLF	Ondas megamétricas	3 KHz – 30 KHz	100 Km.	10 Km.	Ayuda a la navegación Submarinos, Etc.
LF	Ondas kilométricas	30 KHz – 300 KHz	10 Km.	1 Km.	Ayuda a la navegación, Etc.
MF	Ondas hectométricas	300 KHz – 3000 KHz	1 Km.	100 m.	Radiodifusión AM, Servicios Fijo - Móvil
HF	Ondas decamétricas	3 MHz – 30 MHz	100 m.	10 m.	Radiodifusión AM, Servicios Fijo – Móvil, Radioaficionados, Móvil marítimo, Móvil aeronáutico
VHF	Ondas métricas	30 MHz – 300 MHz	10 m.	1 m.	Monocanales, Servicios Fijo – Móvil, Radiodifusión FM – TV, móvil marítimo, Estaciones costeras, Móvil aeronáutico, Torres de control, Radioaficionados, Buscapersonas
UHF	Ondas decimétricas	300 MHz – 3000 MHz	1 m.	10 cm.	Telefonía celular, Sistemas multicanales, Trunking, TV, Buscapersonas, microondas
SHF	Ondas centimétricas	3 GHz – 30 GHz	10 cm.	1 cm.	Enlaces satelitales, microondas
EHF	Ondas milimétricas	30 GHz – 300 GHz	1 cm.	1 mm.	Microondas

Fuente: (Gutiérrez, 2020)

2.2.2.1. Bandas de frecuencia no licenciadas

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.

Banda de 2.4 GHz

Utilizada en los estándares Wi-Fi 4 y Wi-Fi 6, es la banda más antigua de las encontradas actualmente, 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

Es una banda utilizada por los estándares Wi-Fi 5 y Wi-Fi 6, la cual posee gran velocidad y poca cobertura, la cual se encuentra en el rango de frecuencias entre los 5180 MHz hasta los 5825 MHz del espectro. Esta banda es capaz de soportar 25 canales de 20 MHz, 12 canales de 40 MHz, 6 canales de 80 MHz y 2 canales de 160 MHz. (López A. , 2022)

Las dos frecuencias más utilizadas en el estándar Wi-Fi vistas en el apartado anterior, aunque son bandas libres no significa que el uso estas frecuencias no esté regulado. Cada país tiene autoridad para crear e implementar regulaciones que pueden ser únicas para ellos, sin embargo, la gran mayoría opta por tomar un conjunto común de regulaciones de otros países, generalmente más grande.

En Ecuador, las instituciones encargadas del sector de las Telecomunicaciones son el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) y la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), los cuales son organismos públicos competentes en materia del régimen de telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico.

Entre las funciones que se encarga el MINTEL comprenden:

1. Emitir las disposiciones necesarias a la ARCOTEL para la aplicación de políticas públicas y planes, y requerir la información sobre su cumplimiento.
2. Elaborar y aprobar planes de Servicio Universal, Plan de Sociedad de la Información, Plan Nacional de Telecomunicaciones.
3. Emitir políticas públicas, normativas técnicas, disposiciones, cronogramas y criterios, en el ámbito de sus competencias.

Para el caso del otro ente regulador, la ARCOTEL actuará a través de su Directorio, donde el director ejecutivo es la máxima autoridad con facultad ejecutiva de administración y de regulación; además, es el responsable de la gestión administrativa, económica, técnica regulatoria, en los casos previstos en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones y operativa.
(Arcotel, 2018)

En sus atribuciones establecidas en la Ley Orgánica de las Telecomunicaciones (LOT), la ARCOTEL cuenta con un reglamento general llamado Plan Nacional de Frecuencias (PNF), el cual es un documento que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano en materia de administración del espectro radioeléctrico. Permite establecer las normas para la atribución de las bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones, proporcionando así los lineamientos para un proceso eficiente y eficaz para de gestión del espectro radioeléctrico, manteniendo una nomenclatura sencilla y de fácil interpretación.
(Arcotel, 2021)

2.2.2.2. *Bandas de frecuencia licenciadas*

Las bandas de frecuencia licenciadas son bandas de frecuencia asignadas de forma exclusiva que requieren de un pago para su uso, lo que implica beneficios como una mínima interferencia y mayor rendimiento en la transmisión. (Lozada, 2010)

2.2.3. Tipos de enlaces inalámbricos

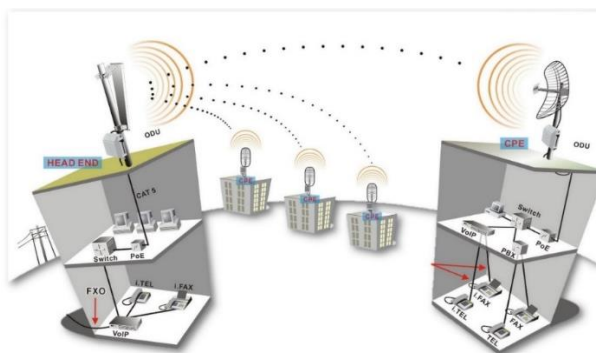
Entre los diferentes tipos de enlaces inalámbricos se destacan:

- Punto a Punto
- Punto a Multipunto
- Red WLAN o Wi-Fi
- Punto de acceso inalámbrico a una red LAN

En la **Figura 8** se observa un ejemplo de enlaces Punto a Punto y enlaces Punto a Multipunto en una misma red.

Figura 8

Ejemplo de un Enlace inalámbrico - Punto a Punto y Multipunto.



Fuente: (Contelec, 2013)

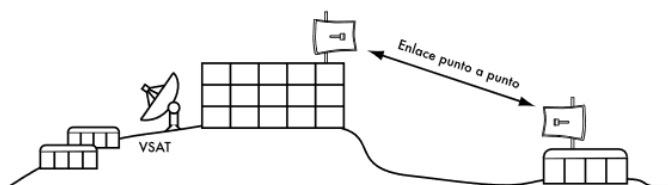
2.2.3.1. Enlace Punto a Punto

Los enlaces Punto a Punto o PtPt sirven para interconectar dos o más redes como una sola mediante un canal de comunicación inalámbrico visible a través de 2 antenas como se observa en la figura anterior, cuya distancia permitida va desde los 20 metros hasta 50 Kilómetros aproximadamente.

Otra utilidad para este tipo de enlaces es conectar a Internet cualquier dispositivo que no tenga acceso de forma cableada a la red debido a su ubicación geográfica, siempre y cuando se cuente con antenas apropiadas y una línea visual disponible como en la **Figura 9**. (WNDW, 2013)

Figura 9

Ejemplo de enlace Punto a Punto



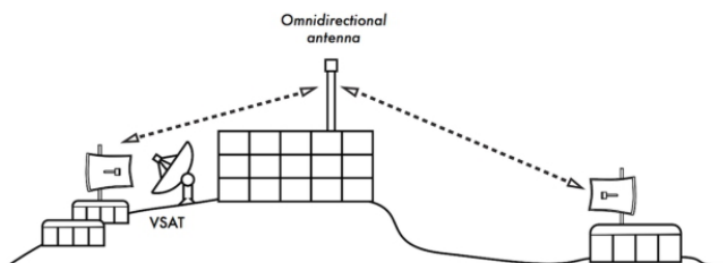
Fuente: (WNDW, 2013)

2.2.3.2. Enlace Punto a Multipunto

Los enlaces Punto a Multipunto PtMP es el diseño de enlace más utilizado cuya característica es la comunicación de varios dispositivos que se encuentran dentro del alcance de un Punto de Acceso a la red requerida tal y como aparece en la **Figura 10**. (WNDW, 2013)

Figura 10

Ejemplo de enlace Punto a Multipunto



Fuente: (WNDW, 2013)

Nota: De acuerdo con (Alfa Telecom, s.f.) el enlace Punto a Multipunto normalmente puede operar en bandas libres 900MHz, 2.4 GHz, 5.1-5.8 GHz o bandas licenciadas como 3.3-3.5 GHz.

2.2.3.3. Redes WLAN

Es un tipo de red que se utiliza para crear un acceso inalámbrico en zonas cuyo rango no sobrepasa los 100 metros, siendo los hogares, oficinas, escuelas, entre otros los sectores más utilizados y aprovechados este tipo de redes. En la **Figura 11** se observa un esquema de una red WLAN formada por un punto de acceso donde se conectan dispositivos clientes para acceder a internet. Las redes WLAN se basan en el estándar IEEE 802.11, aunque son más conocidos comercialmente como Wi-Fi. (Salazar, 2016)

Figura 11

Esquema de una red WLAN



Fuente: (Salazar, 2016)

2.2.3.4. Puntos de Acceso inalámbrico a una red LAN

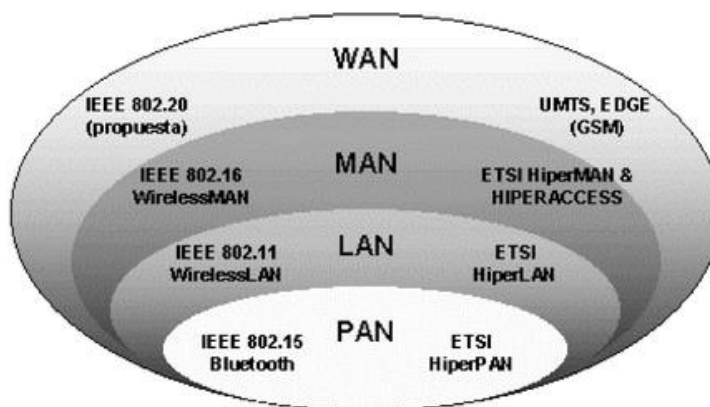
Un punto de acceso inalámbrico o WAP es un dispositivo utilizado en redes WLAN cuya función es interconectar de forma inalámbrica un grupo de dispositivos localizados en un rango de hasta 30 metros, los cuales reciben, almacenan y transmiten información dentro de una misma red. En la actualidad, los estándares o protocolos utilizados en los puntos de Acceso inalámbrico han sido enfocados en su mayoría para la familia de redes Wi-Fi, incluso algunos dispositivos que utilizan estándares para redes WPAN como Bluetooth. (Agualongo, 2016)

2.2.4. Estándares para enlaces inalámbricos

Dentro de la industria de las Telecomunicaciones, el IEEE ha establecido una especie de jerarquía de estándares inalámbricos complementarios, entre los más importantes el IEEE 802.15 para redes PAN, el estándar IEEE 802.11 para redes LAN, el estándar IEEE 802.16 para redes MAN y el estándar IEEE 802.20 para redes WAN. Todos estos estándares brindan una tecnología optimizada para un mercado específico, representando un particular modelo de uso y diseñado para complementarse un estándar con los otros, como se muestra en la **Figura 12**.

Figura 12

Jerarquía de estándares inalámbricos



Fuente: (Gutiérrez, 2020)

De acuerdo con (Gutiérrez, 2020):

Los sistemas construidos sobre el estándar IEEE 802.16 representan una tercera vía para la demanda de conectividad junto con los estándares 802.11 y 802.15, ofreciendo el acceso de banda ancha de última milla flexible y accesible para una gran cantidad de hogares y negocios.

2.2.5. Estándar 802.11

El IEEE 802.11 es un conjunto de normas inalámbricas creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

El método de codificación de canal que utiliza IEEE 802.11 es el Espectro Ensanchado (Spread Spectrum) cuya principal ventaja es su capacidad para resistir las interferencias tanto no intencionales generadas por otro usuario que trata al mismo tiempo de transmitir a través del canal; como interferencias intencionales dirigidas directamente al receptor para sabotear la comunicación. (Colorado, 2011)

2.2.5.1. IEEE 802.11

Este primer estándar fue lanzado en 1997 y que, a diferencia del IEEE 802.3, utiliza como método de acceso al medio el CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance – Acceso múltiple por detección de portadora/ Limitación de colisiones) y a diferencia del CSMA/CD utilizado en Ethernet, el CSMA/CA es un método de acceso muy ineficaz al sacrificar ancho de banda para asegurar una transmisión de datos confiable (Escudero, 2007). Este primer estándar permitía un ancho de banda de 1 a 2 Mbps transmitido por señales infrarrojas. Además, en base a las correcciones de debilidades de este estándar se consiguió establecer a la versión 802.11b y conseguir una amplia aceptación en el mercado.

2.2.5.2. IEEE 802.11b

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 (Vásquez , 2015).

2.2.5.3. IEEE 802.11a

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.

2.2.5.4. IEEE 802.11g

Aprobado en 2003, es un estándar basado en 802.11b, por lo que su frecuencia de trabajo es de 2,4 GHz utilizando DSSS y OFDM como métodos de modulación. Su velocidad de transmisión llega hasta los 54 Mbps similar a 802.11a (Orbe, 2006).

2.2.5.5. IEEE 802.11n

Este estándar ratificado en 2009 se caracteriza por utilizar la tecnología de antenas MIMO (Múltiple Entrada y Múltiple Salida). Trabaja en las bandas de 2,4 y 5 GHz, obteniendo compatibilidad con versiones anteriores. Su velocidad de transmisión máxima admitida va hasta los 300 Mbps con un ancho de banda de 40MHz y rangos de 75 metros en interior y 250 metros en exterior (Ramia, 2015).

2.2.5.6. IEEE 802.11ac

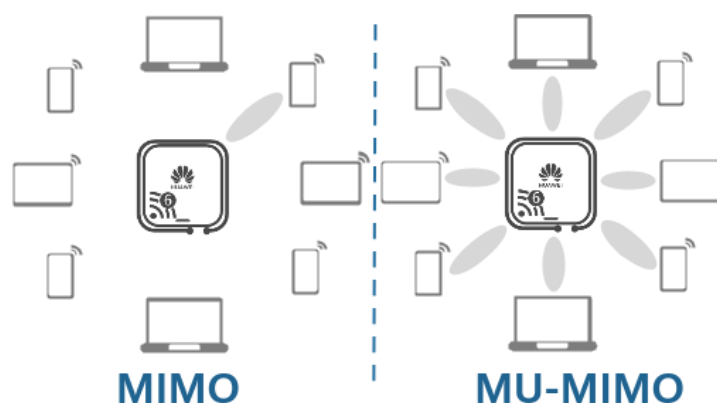
Es un estándar desarrollado entre 2011 y 2013, tiene como propósito mejorar a su predecesor 802.11n, mejorando sus características de velocidad y escalabilidad contando con canales que cuentan 80 MHz o incluso 160 MHz de ancho de banda, lo que implica un aumento de velocidad de datos por cada radio. Este estándar emplea la modulación 256QAM. Otra característica es su operabilidad en los 5 GHz aumentando el número de canales, lo que le permite tener menos ruido e interferencia con tecnologías competidoras. También se puede destacar la tecnología MU-MIMO (Múltiples usuarios MIMO). (WNI, 2022)

Entre las nuevas características que lo diferencian de sus predecesores es el aumento del ancho del canal de hasta 160 MHz, utiliza la modulación OFDM con tecnología MU-MIMO y una velocidad de transmisión ideal de 1300 Mbps. A continuación, se detallan a profundidad las características del estándar IEEE 802.11ac.

Tecnología MU-MIMO

MU-MIMO es el acrónimo de Multiple-User Multiple-Input Multiple-Output, la cual es una tecnología utilizada en el estándar 802.11ac para mejorar la eficiencia de la transmisión de datos en redes inalámbricas. En lugar de transmitir datos a un solo dispositivo a la vez, MU-MIMO permite a los puntos de acceso enviar datos a varios dispositivos simultáneamente, mejorando la eficiencia de la transmisión de datos y aumentando la capacidad de la red. Todas estas características mejoran la experiencia del usuario en una red inalámbrica concurrida.

Es importante tener en cuenta que para obtener los beneficios completos de MU-MIMO, es necesario que tanto el punto de acceso como los dispositivos inalámbricos sean compatibles con esta tecnología. En la **Figura 13** se puede observar la diferencia entre el funcionamiento de una antena MIMO y una MU-MIMO.

Figura 13*Diferencia entre MIMO y MU-MIMO*

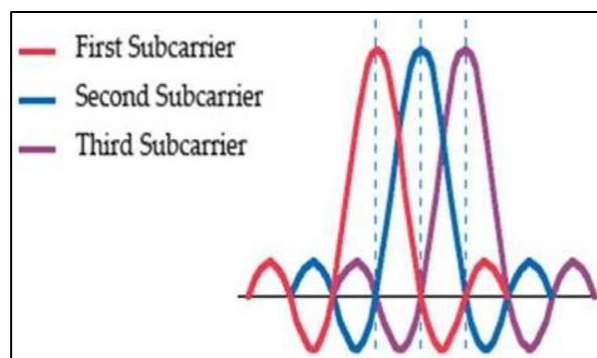
Autor: (Huawei, 2022)

Modulación OFDM

OFDM son las siglas de Orthogonal Frequency Division Multiplexing, técnica de modulación utilizada en la transmisión de datos. El funcionamiento consiste en dividir la señal de datos en múltiples subportadoras con ancho de banda limitado. Cada una de éstas se transmite de manera independiente por medio de un canal de comunicación hasta llegar al receptor, donde son recombinadas para volver a formar la señal original.

El punto clave de para la eficacia de OFDM es el uso de una técnica llamada ortogonalidad, la cual garantiza que las subportadoras no se superpongan, es decir, que no interfieran entre sí. Esto ayuda a una mayor eficiencia en la transmisión de datos, sobre todo en canales con interferencia o ruido. En la **Figura 14** se puede observar como la ortogonalidad evita que las subportadoras no superpongan sus lóbulos centrales donde se concentra la mayor cantidad de información.

Figura 14*Señal multiplexada mediante OFDM*



Autor: (Kumar, 2017)

Esta técnica se ha convertido en el estándar de la transmisión de datos inalámbricos y se utiliza ampliamente en una gran variedad de aplicaciones como Wi-Fi, LTE, televisión digital terrestre, redes de fibra óptica y aplicaciones de transmisión de datos a larga distancia.

Ancho del canal

El ancho del canal de transmisión es un concepto en comunicaciones de radio que se refiere a la cantidad de ancho de banda utilizado para transmitir información dentro de una red inalámbrica. Tiene como unidad el Hertz (Hz).

Un ancho de banda más amplio permite una tasa de transmisión mayor, ya que es capaz de transmitir más información en un momento dado, sin embargo, el contar con un ancho de banda más amplio implica necesitar más ancho de banda para transmitir los mismos datos, provocando mayor interferencia con otros dispositivos inalámbricos que transmitan en la misma frecuencia.

En cuanto al IEEE 802.11ac, cuenta con anchos de canal de 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz y hasta 160 MHz. El más utilizado comúnmente es de 80 MHz, que permite una tasa de transmisión máxima mayor a 1 Gbps, sin embargo, se debe considerar que el ancho del canal que se utiliza dependerá de factores como la congestión de la red, la disponibilidad del ancho de banda y la compatibilidad con otros dispositivos inalámbricos ubicados en la misma área.

Velocidad de transmisión

La velocidad de transmisión se encarga de medir la cantidad de datos que se pueden transmitir en un período de tiempo determinado. Su medida son los bits por segundo (bps). Es un parámetro importante dentro de las redes de computadoras y en las comunicaciones de datos, ya que está involucrada directamente con la eficiencia y la rapidez con la que se transmiten los datos.

Dentro del estándar IEEE 802.11ac, en su ancho de canal más común que es de 80 MHz es capaz de transmitir datos de hasta 1,3 Gbps, incluso puede llegar a tener una tasa de transmisión aún más alta si se utiliza el ancho de canal de 160 MHz. Al contar con una velocidad de transmisión más alta que su predecesor 802.11n, 802.11ac es capaz de manejar grandes cantidades de tráfico de datos en una red inalámbrica, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieran de una velocidad de transmisión muy rápida como es el caso de una transmisión de videos en alta definición o la descarga de archivos de gran tamaño.

A continuación, la **Tabla 3** presenta los parámetros de red para el estándar IEEE 802.11ac y una comparación entre los valores ideales y los reales generados por equipos que cuenten con este estándar.

Tabla 3

Parámetros de red de 802.11ac

Parámetros	Ideales	Reales
Tecnología	MU-MIMO	MU-MIMO
Modulación	OFDM	OFDM
Frecuencia de trabajo	5,8 GHz	5,8 GHz
Ranura de tiempo	5,8 µseg.	20 µseg.
Velocidad de transmisión	1300 Mbps	600 Mbps
Ancho de canal	40 y 80 MHz	40 y 80 MHz

Número de índice OFDM	1-8	1-8
Potencia	Infinita	450 mW
Distancia	Infinita	600 m.

Autor: (Ortiz, 2015)

2.2.5.7. IEEE 802.11ax

Actualmente se puede considerar como la última generación de los estándares Wi-Fi conocido como Wi-Fi 6, cuyo interés a lo largo de los años de evolución se ha enfocado en el aumento de velocidad y las tasas de datos más altas para satisfacer las necesidades en demandas en las comunicaciones inalámbricas. Este estándar es capaz de funcionar en las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz, por lo que la comunicación con sus estándares antecesores (802.11a/b/g/n/ac) es posible. Utiliza como modulación de las señales la tecnología OFDMA, subdividiendo un canal en asignaciones de frecuencia más pequeñas. (IEEE, 2021)

2.2.6. Elementos de un Radioenlace

Para realizar un enlace vía microondas es importante contar con equipos o elementos considerablemente de alta calidad para lograr atenuar interferencias y ruido dentro del enlace, Por tal razón, la selección de los equipos para poder realizar el envío de las señales es un parámetro importante para conocer la potencia, ganancia y sensibilidad según la cantidad de transmisión y recepción deseada. Algunos de los elementos importantes del radioenlace se nombran a continuación.

2.2.6.1. Radiotransmisor

Un Radiotransmisor, también conocido como Radio o Transceptor es un elemento esencial dentro de un sistema de radioenlace tal y como se presenta en la **Figura 15** cuya función es la generación o recepción de las señales mediante una línea de transmisión que consta de cables, conectores y la antena (plato).

Figura 15

Radiotransmisor



Autor: (Onate, 2017)

Ciertos parámetros de los radios están sujetos a leyes y normativas establecidas por los órganos reguladores de cada país, siendo la ARCOTEL la encargada de las establecer las condiciones para el empleo del espectro de uso libre, así como del espectro para uso determinado en bandas libres en todo el territorio ecuatoriano.

De acuerdo con (Arcotel, 2018); se establece en esta norma dentro del capítulo III en el artículo 10 el Uso Determinado en Bandas Libres (UDBL) que, aplica a las estaciones que se dedican a la prestación de servicios de telecomunicaciones; el artículo 11 que habla de la habilitación para el espectro UDBL y corresponde a un registro obtenido de manera conjunta o posterior al título habilitante del servicio del régimen general de telecomunicaciones o de operación de red privada, de acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica de

Telecomunicaciones (LOT); y el artículo 13, donde se habla de la homologación de equipos que utilicen el espectro UDBL, los cuales deben ser homologados por la ARCOTEL de acuerdo con lo establecido en el reglamento para homologación y certificación de equipos terminales de telecomunicaciones (Arcotel, 2017).

Entre las condiciones de operación para UDBL se presentan en la **Tabla 4** las bandas destinadas al espectro para uso determinado en bandas libres y el tipo de enlace o sistema que se permite operar.

Tabla 4

Bandas UDBL y tipo de enlace o sistema

Banda UDBL	Tipo de enlace / Sistema	
	Punto a Punto	Punto a Multipunto
915 – 928 MHz	X	X
2400 – 2483,5 MHz	X	X
5150 – 5250 MHz	X	X
5250 – 5350 MHz	X	X
5470 – 5725 MHz	X	X
5725 – 5850 MHz	X	X
24,05 – 24,25 GHz	X	No permitido
57 – 66 GHz	X	No permitido

Autor: (Arcotel, 2018) Modificado: Autor

Además, por medio de la **Tabla 5** se pueden conocer las características técnicas y los límites de emisión aplicables a las bandas destinadas al espectro UDBL.

Tabla 5

Límites a las transmisiones de UDBL

Bandas de Operación	Potencia pico máxima del transmisor (dBm)	P.I.R.E. (dBm)	Densidad de P.I.R.E. (mW/MHz)
2400 – 2483,5 MHz	30	---	---
5150 – 5250 MHz	24	30	50
5250 – 5350 MHz	24	30	50

5470 – 5725 MHz	24	30	50
5725 – 5850 MHz	30	---	---
57 – 66 GHz	---	85	---

Autor: (Arcotel, 2018) Modificado: Autor

2.2.6.2. Antenas

Una antena es un dispositivo que genera y recoge ondas electromagnéticas. Estos elementos funcionan como transductores que toman ondas guiadas en su entrada para transformarlas en ondas no guiadas que se propagan por el espacio libre.

En palabras generales, el funcionamiento de las antenas según (Vela, 2015, pág. 20) “Una antena emisora transforma señales eléctricas en señales electromagnéticas para enviarlas por el espacio libre llegando a su destino para ser recibida por una antena receptora que, a manera de transductor, transforma las señales electromagnéticas en señales eléctricas idénticas a las enviadas desde el emisor, dichos datos pueden ser audio, video o datos”

Parámetros de antenas

Las antenas se comportan de igual manera en la recepción que en la emisión y se caracterizan por una serie de parámetros, entre los más habituales: respuesta en frecuencia, polarización, ganancia, longitud y área efectiva, peso, dimensiones, tipos de conectores, resistencia al viento, etc. (Huidrobo, 2013)

A continuación, se describen los parámetros más importantes:

- **Directividad**

Se conoce como directividad de una antena al sector donde se concentra la potencia radiada en una dirección determinada. Según la dirección necesitada en la transmisión se pueden nombrar tres tipos de antenas.

- **Antenas direccionales**

Son un tipo de antenas como los indicados en la **Figura 16** que tienen la propiedad de transmitir o recibir ondas electromagnéticas concentrando toda la energía de radiación en una sola dirección seleccionada, generando un alcance que bordea los kilómetros.

Figura 16

Antena direccional

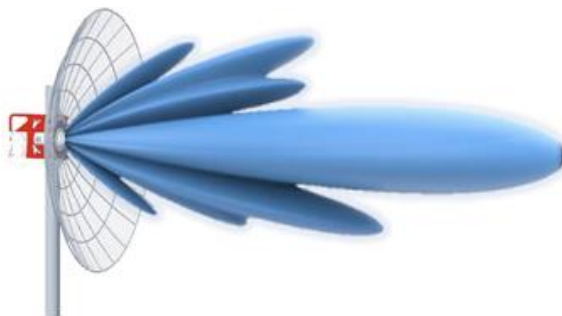


Fuente: (Jiménez, 2021)

Este tipo de antenas son las más óptimas para un radioenlace Punto a Punto porque su alcance es considerablemente grande a pesar de tener un haz de emisión estrecho. En la **Figura 17** se puede observar de mejor manera como este tipo de antenas irradia energía en su mayoría en una sola dirección.

Figura 17

Patrón de radiación de una antena direccional



Fuente: (Sánchez, 2021)

- **Antenas omnidireccionales**

Este tipo de antenas tiene como característica la capacidad de radiar energía en todas las direcciones, es decir 360°, por lo que no necesitan ser orientadas a ninguna dirección como las antenas direccionales, sin embargo, a diferencia de estas últimas, su alcance es menor (González, 2018). De acuerdo con la **Figura 18** en la parte izquierda existen diversos tipos de antenas omnidireccionales, encontradas comúnmente en los Routers Wi-Fi de los hogares.

Figura 18

Tipos de antenas omnidireccionales



Fuente: (Carballar, 2021)

- **Antenas sectoriales**

En términos simples se puede decir que, si se combinaran las características de una antena direccional y una omnidireccional se obtendría una antena sectorial, debido a que este tipo de antenas emiten un haz mayor al radiado en una antena direccional pero no tan amplio que una omnidireccional, así como también cuentan con un alcance mayor al de una antena omnidireccional pero menor que una direccional. Se puede encontrar este tipo de antenas en el mercado con un ancho de haz de 30, 90 o 120 grados, por lo que

si se necesita cubrir un área en todas las direcciones se utilizarían 4 antenas de 90 grados o 3 antenas de 120 grados tal y como se muestra en la **Figura 19**.

Figura 19

Ejemplo de arreglo de antenas sectoriales



Fuente: (Kroton, 2020)

- **Ganancia**

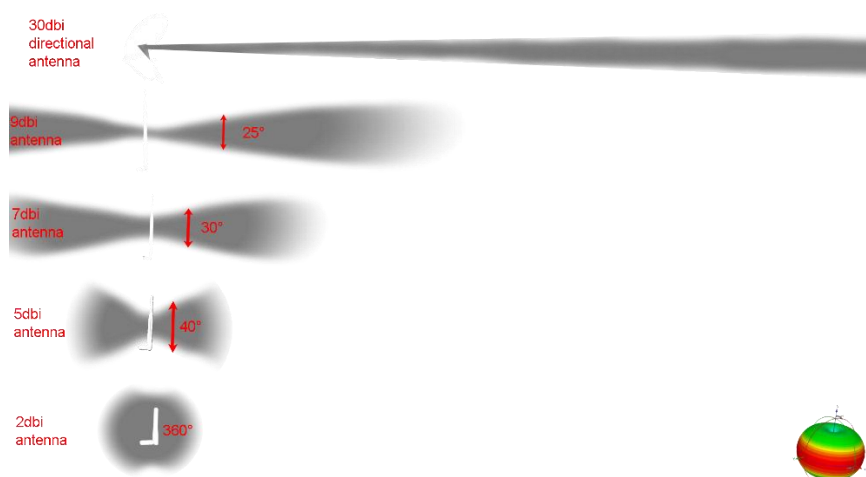
Es un parámetro directamente relacionado con la directividad basado en la relación que tiene la potencia de entrada con la potencia de salida en una dirección particular de una antena la cual es medida en dBi (Comparación entre la energía saliente de la antena y la energía saliente de una antena isotrópica), refiriendo la dirección de la radiación máxima de una antena.

Se llama isotrópica a una antena ideal teórica cuyo patrón de radiación esférico es perfecto y cuenta con una ganancia lineal unitaria. (WNI, 2008)

Este parámetro se encarga de direccionar el patrón de radiación de la señal que transmite la antena, según la **Figura 20** entre mayor sea el valor de la ganancia, mayor radiación emerge directamente de la parte frontal de la antena. Los valores recomendados para la ganancia de una antena direccional pueden ser mayores a los 20 dBi. Por lo tanto, se puede definir que una radiación isotrópica, donde la señal se genera en 360° tiene ganancia cero.

Figura 20

Tipos de radiación con diferentes ganancias



Autor: (pnggg, 2022)

- **Densidad de potencia radiada**

Se define como la potencia por unidad de área en el campo de la antena, cuya unidad se mide en watts por metro cuadrado. La cantidad usada para describir la potencia asociada con una onda electromagnética es el vector de Poynting instantáneo (Garduño, 2010), definido con la siguiente **Ecuación 3**. Donde:

$P =$ Vector de Poynting instantáneo [$W \cdot m^2$]

$E =$ Intensidad de campo eléctrico instantáneo [$V \cdot m$]

$H =$ Intensidad de campo magnético instantáneo [$A \cdot m$]

Ecuación 3

Fórmula del Vector de Poynting instantáneo

$$P = E \times H$$

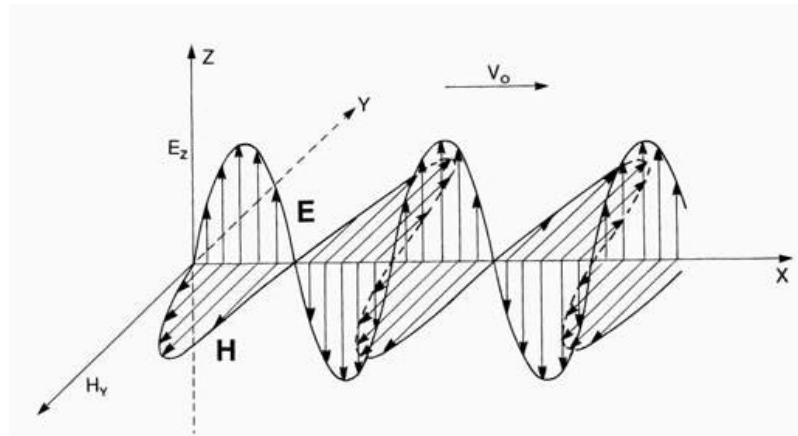
- **Polarización**

Se conoce como polarización a la orientación que posee el campo eléctrico al propagar una onda electromagnética en un plano estacionario. Existen algunos tipos de polarización como lineal, circular y elíptica (Anguera, 2008). La **Figura 21** describe como en un plano estacionario

el lugar geométrico trazado por el vector de campo eléctrico E perpendicular al campo magnético H cuando viaja una onda a través de ese plano.

Figura 21

Ejemplo de propagación de una onda electromagnética



Fuente: (Pérez C. , 2013)

2.2.7. Cálculos para Radioenlace

Para llegar a tener una red estable mediante antenas microondas es necesario tomar ciertos elementos ligados a la transmisión inalámbrica, entre los más importantes se han determinado los siguientes:

2.2.7.1. Potencia de Transmisión

Es el nivel de salida de potencia de los dispositivos definida por los fabricantes y las regulaciones vigentes de cada país.

La potencia de transmisión se puede determinar en milvatios (mW) o en dBm.

2.2.7.2. Pérdida en el cable

Un cable siempre tendrá pérdidas sin importar la calidad de éste, dichas pérdidas se producen en los cables tanto del emisor como del receptor que conectan a las antenas, los cuales están comprometidos por el tipo de cable y la frecuencia de operación. Las pérdidas tienen como unidad los dB/m. (Buettrich, 2007)

2.2.7.3. Pérdida en los conectores

Otro elemento por considerar en un radio enlace es la pérdida de conectores, ya que se estima al menos una pérdida de 0,25 dB por cada conector en el cableado. Si se considera usar protectores contra descargas eléctricas que se usan en las antenas será hasta 1 dB de pérdida según el tipo. (Buettrich, 2007)

2.2.7.4. Propagación de señales

La propagación de señales consiste en la pérdida relacionada con la atenuación de la señal saliente de la antena transmisora hasta que llega a la antena receptora. Una forma para reducir la pérdida de propagación es asegurando la línea de vista elevando los transmisores de cada enlace ayudándose de torres de comunicación. (Rosero, 2015)

2.2.7.5. Línea de vista

La línea de vista es un parámetro presente en los sistemas de radio comunicaciones, el cual consiste en contar con una trayectoria directa entre antena emisora y receptora para obtener un correcto funcionamiento. (Di Cesare, 2020)

2.2.7.6. Pérdidas en el espacio libre

Toda señal transmitida por un radio enlace a través del espacio libre estará sometida a interferencias como ruido o atenuación de dicha señal, y estas pérdidas dependen principalmente de la señal recorrida y el valor de la frecuencia, por lo que es proporcional al cuadrado de la frecuencia de la señal de radio. A palabras de (Tranzeo, 2010, pág. 1), la pérdida de la trayectoria en el espacio libre aumentará significativamente con la distancia y la frecuencia.

Para calcular las pérdidas en el espacio libre se puede utilizar la siguiente fórmula mostrada en la **Ecuación 4**:

Ecuación 4

Fórmula para calcular la pérdida en el espacio libre

$$FSLP(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

Donde:

f = Frecuencia de la señal [Hz]

d = Distancia [m]

c = Velocidad de la luz [$3 \cdot 10^8$ m/s]

La **Tabla 6** muestra algunos valores de pérdidas en el espacio libre de acuerdo con las distancias más comunes y las frecuencias más utilizadas para un radio enlace.

Tabla 6

Pérdida en el espacio libre

Distancia	Pérdida en el espacio libre (dB)		
	900 MHz	2,4 GHz	5,8 GHz
1 km	91,53	100,05	107,72
2 km	97,56	106,07	113,74

3 km	101,08	109,60	117,26
4 km	103,58	112,10	119,76
5 km	105,51	114,03	121,70
10 km	111,53	120,05	127,72
20 km	117,56	126,07	133,74
30 km	121,08	129,60	137,26
40 km	123,58	132,10	139,76
50 km	125,51	134,03	141,70

Autor: (Tranzeno, 2010)

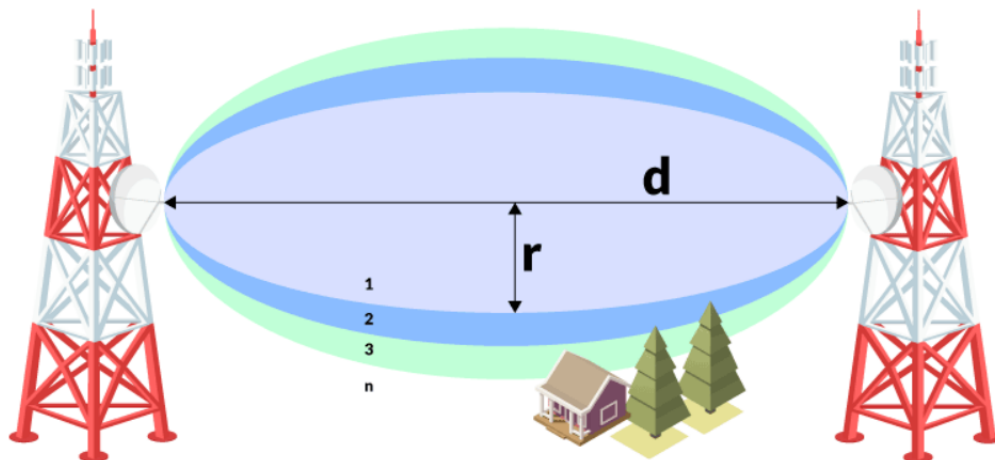
2.2.7.7. Zona de Fresnel

La zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que se toma en consideración junto con una visibilidad directa entre antenas. En otras palabras, es el volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y el receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los grados. (Flores, 2019)

En la **Figura 22** se visualiza la zona de Fresnel como muchas elipses con igual distancia entre las antenas, aunque cada una de ellas cuenta con un radio y una distancia al centro cada vez mayor. Por lo tanto: En la primera zona se encuentra la mayor intensidad de la señal, la zona 2 afecta menos que la primera, la zona 3 afecta menos que la segunda, etc.

Figura 22

Ejemplo de zona de Fresnel



Fuente: (Martínez J. L., Zonas de Fresnel, 2018)

Las zonas de Fresnel se calculan mediante la **Ecuación 5** tomando en cuenta solamente hasta tercera zona el efecto de cancelación se vuelve despreciable. Dicha Ecuación es utilizada cuando se conoce que existen obstáculos entre el camino de la transmisión y se necesita saber si ocurrirá alguna interferencia.

Ecuación 5

Cálculo de las zonas de Fresnel

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

n = número de zona de Fresnel a calcular

λ = Longitud de onda de la señal emitida

d_1 = Distancia entre el obstáculo a calcular desde la antena transmisora

d_2 = Distancia entre el obstáculo a calcular desde la antena receptora

Existen otras dos fórmulas que ayudan a calcular la altura que deben tener las antenas en la primera zona de Fresnel.

La **Ecuación 6** describe la fórmula con obstáculos:

Ecuación 6

Fórmula para la primera zona de Fresnel con obstáculos

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d_1 d_2}{df}}$$

Donde:

d: Distancia entre transmisor y receptor [Km]

f: Frecuencia de operación [GHz]

d₁: Distancia entre el transmisor y el obstáculo [Km]

d₂: Distancia entre el receptor y el obstáculo [Km]

r: Altura en metros que deben tener las antenas [m]

La **Ecuación 7** describe la fórmula sin obstáculos:

Ecuación 7

Fórmula para la primera zona de Fresnel sin obstáculos

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

Donde:

d: Distancia entre transmisor y receptor [Km]

f: Frecuencia de operación [GHz]

r: Altura en metros que deben tener las antenas [m]

Nota: El valor de 17,32 y 4 son constantes ya establecidas.

2.2.7.8. Sensibilidad del receptor

Es el parámetro que determina el alcance máximo de una señal, identificando el valor mínimo de potencia que se necesita para codificar y extraer los bits lógicos de la señal receptada.

Mientras más baja sea la sensibilidad, será menor la captura de la señal por medio de la antena receptora.

2.2.7.9. Relación Señal Ruido

Se conoce como S/N a la diferencia entre la potencia de la señal entre la potencia de la señal y la potencia de ruido, tal como en la **Ecuación 8**:

Ecuación 8

Relación Señal Ruido

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

Un requerimiento típico de la SNR es 16 dB para una conexión de 11 Mbps y 4 dB para la velocidad más baja de 1 Mbps. (Buettrich, 2007)

2.2.7.10. Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE, en inglés EIRP) es una medida de la cantidad de potencia de radiofrecuencia que se emite desde una fuente radiada y se recibe en un punto determinado. Se utiliza comúnmente en telecomunicaciones para describir la cantidad de energía que se emite desde un transmisor de radio o una antena. La PIRE se calcula sumando la potencia de la fuente radiada y la ganancia de la antena menos las pérdidas en los cables y conectores del transmisor. Esta medida se expresa en dBm. En la **Ecuación 9** se presenta la fórmula para el cálculo del PIRE.

Ecuación 9

Cálculo del PIRE

$$PIRE_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi}$$

2.2.7.11. Margen de desvanecimiento

Es un parámetro final y más importante en el diseño de un radioenlace, donde se demuestre que existe un margen de seguridad donde la potencia recibida en el receptor supere la sensibilidad del Receptor, resultando un valor igual o mayor a los 10 dB como se muestra en la **Ecuación 10**.

Ecuación 10

Cálculo del margen de desvanecimiento de un radio enlace

$$M_{dB} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm} ; \quad M_{dB} \geq 10 \text{ dB}$$

Autor: (Rosero, 2015)

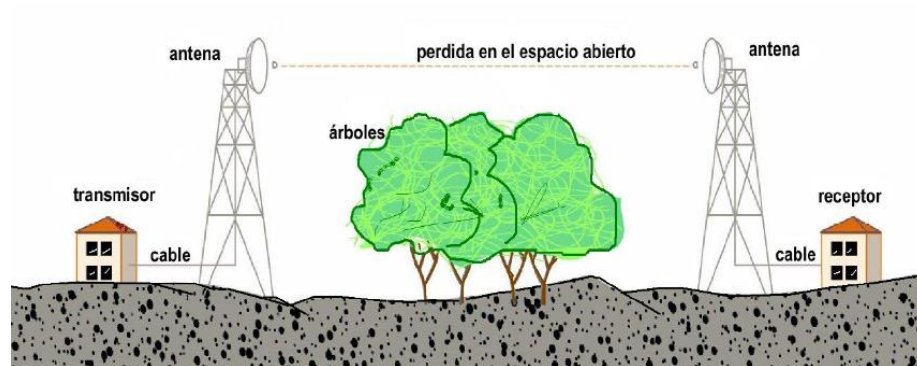
2.2.7.12. Presupuesto del radio enlace

Tomando en cuenta los anteriores elementos mencionados para un radio enlace y ya definidos todos los criterios para su diseño, se procede a realizar un balance de potencia tomando en cuenta todas las ganancias y pérdidas en 3 partes principales que se muestran en la **Figura 23**:

1. El lado del transmisor: Potencia, Pérdidas en el cable, Ganancia de antena.
2. Las pérdidas de propagación: Pérdidas en el Espacio Libre, Zona de Fresnel.
3. El lado del receptor: Ganancia de antena, Pérdidas en el Cable, Sensibilidad del receptor.

Figura 23

Radio enlace – Trayectoria completa de una transmisión



Autor: (Buettrich, 2007)

En la **Ecuación 11** se considera la suma de todos elementos implicados para obtener un presupuesto de radio enlace completo.

Ecuación 11

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

Autor: (Rosero, 2015)

Donde:

PRx_{dBm} : Potencia recibida en el Receptor

PTx_{dBm} : Potencia del Transmisor

LTx_{dB} : Pérdida en los cables y conectores del Transmisor

GTx_{dBi} : Ganancia de la antena en la Transmisión

FSL_{dB} : Pérdidas en el espacio libre

GRx_{dBi} : Ganancia de la antena en la Recepción

LRx_{dB} : Pérdida en los cables y conectores del Receptor

2.3. Fibra Óptica

La fibra óptica es una tecnología de transmisión de luz a través de finos hilos de fibras ópticas sumamente transparentes utilizada en las comunicaciones, iluminación, medicina, controles ópticos, fabricación de sensores, etc. (FOA, 2017)

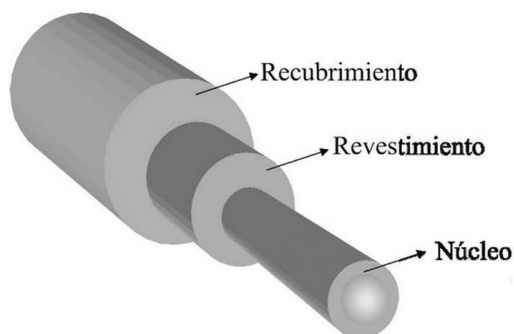
La transmisión de la fibra óptica consiste en el cambio de una señal eléctrica a pulsos de luz a través de un transmisor optoelectrónico que viajan por el núcleo de un filamento de vidrio o plástico. A diferencia de otros medios de comunicación guiados, la fibra brinda un ancho de banda ilimitado (aproximadamente 50000 Gbps), sin embargo, por la conversión de una señal óptica a eléctrica el ancho de banda se limita a 1 Gbps. (Oviedo, 2018)

2.3.1. Estructura de la fibra óptica

Por lo general, la fibra óptica está constituida por diferentes elementos, sin embargo, existen 3 elementos principales que siempre estarán presentes en este tipo de cable, tal y como se indica en la **Figura 24**.

Figura 24

Partes de un cable de fibra óptica



Autor: (Hernández, 2010)

A continuación, en la **Tabla 7** se especifican las características principales de las partes de un cable de fibra óptica.

Tabla 7*Características de las partes del cable de fibra óptica*

Nombre	Función	Material	Diámetro en fibra multimodo	Diámetro en fibra monomodo
Núcleo	Elemento por donde se propagan los haces de luz.	- Sílice - Cuarzo fundido - Plástico	50 o 62,5 μm	8 o 11 μm
Revestimiento	Conserva la luz en el centro evitando que salga del núcleo.	- Sílice - Cuarzo fundido - Plástico	125 μm	125 μm
Recubrimiento	Sirve como protección mecánica de la fibra.	- Silicona - Kevlar - Polietileno	Funda primaria 250 μm Funda exterior 900 μm	Funda primaria 250 μm Funda exterior 900 μm

Autor: Creación propia

2.3.2. Modos de propagación de la fibra óptica

Los tipos de fibra óptica se definen por el número de modos que se propagan en éstas, dicho número se encuentra determinado por la longitud de onda de la luz, diferencia del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento, el índice de refracción del núcleo, dimensiones y material. (Albán, 2006)

- **Fibra monomodo**

Es un tipo de fibra óptica que, como su nombre lo indica, permite un solo modo de propagación, es decir, un único rayo que viaja a través de un núcleo de vidrio de aproximadamente 10 μm de diámetro, cubierto por un revestimiento de vidrio de 125 μm de

diámetro y un recubrimiento de polímero. En la **Figura 25** se representa mejor la estructura de un cable de fibra monomodo y como viaja el haz de luz en paralelo con el eje de la fibra.

Figura 25

Estructura de la fibra monomodo



Autor: (Solutions telecom, 2017)

Este tipo de fibra se utiliza para enlaces de largas distancias, lo que la hace ideal para redes FTTH. Permite la propagación de un único modo, evitando así la dispersión intermodal y reduciendo las pérdidas en comparación con la fibra multimodo. Sin embargo, el costo de fabricación y conexión es superior. (Martínez D. , 2021)

- **Fibra multimodo**

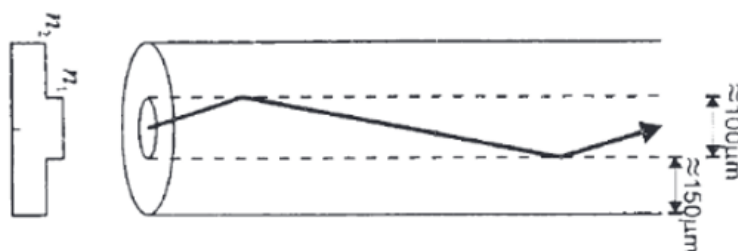
Este tipo de fibra se diferencia por poseer un núcleo de mayor diámetro, lo que permite que varios rayos de luz viajen al mismo tiempo con diferentes ángulos de reflexión dentro del núcleo. Es encontrado comúnmente en instalaciones de redes privadas o conexiones relativamente cercanas. (Optical Networks, 2022)

Existe una subclasificación para la fibra óptica multimodo cuya diferencia se concentra en cómo se transmite la señal dentro del núcleo.

- Fibra de índice escalonado: Esta fibra fue de las primeras en diseñarse, se caracteriza por tener mayor atenuación y la información viaja muy lentamente por que los rayos se desfasan en su trayectoria, el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento (Velasco, 2018), en la **Figura 26** se muestra el funcionamiento de la fibra óptica multimodo de índice escalonado.

Figura 26

Fibra multimodo de índice escalonado

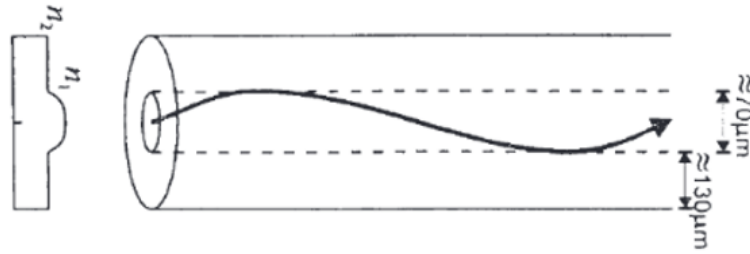


Autor: (Bastidas, 2012)

- Fibra de índice gradual: Es un tipo de fibra multimodo cuyo índice de refracción es inferior en las proximidades del revestimiento del eje de la fibra (Albán, 2006). Este tipo de fibra multimodo se diferencia por tener menor distorsión y un ancho de banda superior al ancho de banda de la fibra de índice escalonado. En la **Figura 27** se muestra el funcionamiento de la fibra óptica multimodo de índice gradual.

Figura 27

Fibra multimodo de índice gradual



Autor: (Bastidas, 2012)

2.3.3. Parámetros de transmisión de la fibra óptica

Cada uno de estos parámetros intervienen en la calidad y la velocidad de la transmisión de datos a través de la fibra óptica, dichos parámetros de transmisión incluyen la atenuación, las pérdidas extrínsecas e intrínsecas, dispersión, ancho de banda, entre otros.

2.3.3.1. Atenuación

Es un fenómeno que se produce cuando la luz que se propaga por la fibra óptica experimenta pérdidas de potencia provocadas por fenómenos físicos como la dispersión y la absorción a medida que la distancia aumenta. Sus efectos se reflejan en la disminución de la amplitud de los pulsos (Llumiquinga, 2008). La unidad de la atenuación se expresa en dB/km.

2.3.3.2. Pérdidas

Las pérdidas en la transmisión de la fibra óptica se deben a diferentes aspectos, comenzando desde el proceso de fabricación hasta los diferentes escenarios a los que es sometida la fibra (Velasco, 2018). Se pueden clasificar en dos grupos:

- Pérdidas extrínsecas

Pérdidas generadas por causa de factores externos como curvatura de la fibra, empalmes en la instalación o la temperatura a la que es sometida la fibra óptica. (Campos, 2019)

- Pérdidas intrínsecas

Estas pérdidas hacen referencia a las generadas por culpa de las propiedades físicas y químicas de la misma fibra desde su fabricación (Campos, 2019). Entre las pérdidas más destacadas tenemos:

- Pérdidas inherentes a la fibra durante el proceso de fabricación
- Absorción por rayos UV e IR
- Reflexión de Fresnel
- Scattering de Rayleigh

2.3.3.3. *Dispersión*

Es un fenómeno que limita tanto la distancia como el ancho de banda de la transmisión afectando a todas las ondas causando distorsión en la información. La dispersión viene expresada en [ns/km]. Se clasifica en tres tipos de dispersión:

- Dispersión modal

Presentado en la fibra óptica multimodo, este fenómeno se produce cuando los haces de luz que recorren la fibra a distancias diferentes y llegan al final de ésta en instantes de tiempo distinto produciendo ensanchamiento del pulso conocido como Interferencia entre símbolos.

- Dispersión por modo polarizado (PMD)

Presentado en la fibra monomodo, este fenómeno se debe a las simetrías en el núcleo de la fibra y provoca que las componentes horizontal y vertical de un solo modo se desplacen a distintas velocidades llegando al receptor en instantes de tiempo diferentes.

- Dispersión cromática

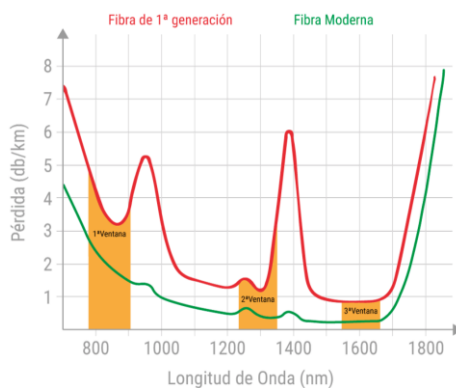
A diferencia de los dos anteriores tipos de dispersión, la dispersión cromática afecta tanto a fibras monomodo como multimodo, la cual compromete directamente al ancho de banda y a la forma de las señales ópticas provocando ensanchamiento de pulsos debido a las diferentes longitudes de onda que llegan al receptor.

2.3.3.4. Ventanas de transmisión de la fibra óptica

Se conoce como ventanas de transmisión de fibra óptica a las longitudes de onda que poseen una atenuación extremadamente reducida, las cuales van desde los 850 nm hasta los 1550 nm. Están divididas en tres ventanas principales localizadas en 800 – 900 nm, 1200 – 1300 nm y 1500 – 1600 nm (Silva, 2021). Como se puede observar en la **Figura 28**, la primera ventana (Led cortas distancias y multimodo) tiene como valor 850 nm, la segunda ventana (Láser distancias medias y multimodo/monomodo) tiene como valor 1310 nm y la tercera ventana (Láser largas distancias y monomodo) tiene como valor 1550 nm. Entre 660 nm y 1675 nm se han creado múltiples bandas intermedias, por lo que la ITU creó una serie de estándares vistos en la **Figura 29** que definen las bandas de transmisión recomendadas, dividiéndose en 6: O, E, S, C, L y U. (Martínez J. L., Ventanas de transmisión, 2018)

Figura 28

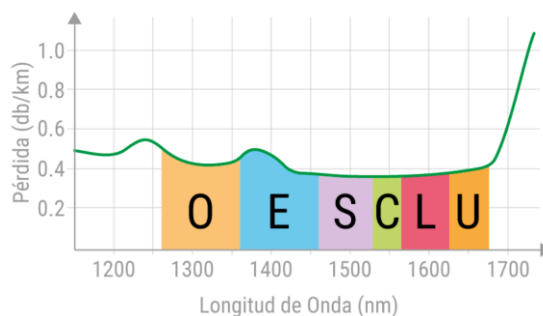
Ventanas de transmisión en la fibra óptica



Autor: (Martínez J. L., Ventanas de transmisión, 2018)

Figura 29

Bandas de transmisión publicadas por la ITU



Fuente: (Martínez J. L., Ventanas de transmisión, 2018)

Mediante la **Tabla 8** se puede comprender mejor la figura anterior, donde se especifican los tipos de bandas, abreviatura y su respectiva longitud de onda.

Tabla 8

Nomenclatura de las bandas de transmisión

Banda	Nombre	Longitud de onda
O	Banda Original	1260 nm – 1360 nm
E	Banda Extended	1360 nm – 1460 nm
S	Banda Short	1460 nm – 1530 nm
C	Banda Conventional	1530 nm – 1565 nm
L	Banda Long	1565 nm – 1625 nm
U	Banda Ultra Long	1625 nm – 1675 nm

Autor: Creación propia

2.3.4. Materiales de fibra óptica

Para realizar una instalación de fibra óptica que sea capaz de soportar condiciones físicas a lo largo del tiempo se han desarrollado estándares y normativas que facilitan la selección de

materiales y equipos aparentemente sencillos que han evolucionado hasta contar con la calidad adecuada para evitar cualquier tipo de inconveniente en las instalaciones de fibra óptica.

2.3.4.1. *Cable de fibra óptica*

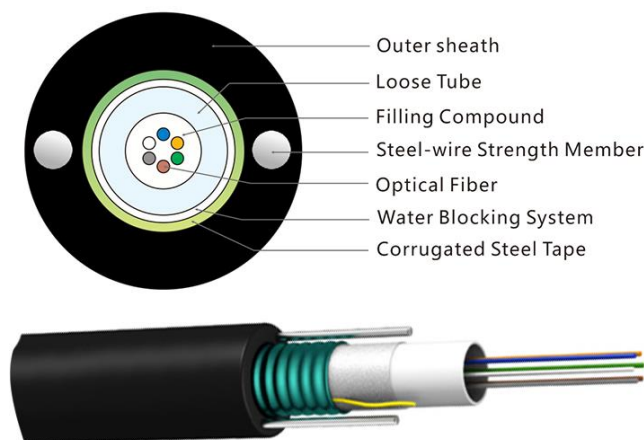
Los cables de fibra óptica están diseñados para utilizarse mediante métodos específicos dependiendo del tamaño y peso, contrario a los de cobre. Dependiendo para el medio que serán utilizados (exterior o interior) se los puede dividir en dos estructuras.

- **Fibra óptica de estructura holgada**

Conocida también como Loose Tube, es un tipo de cable diseñado para usarse en ambientes exteriores, consta de varios tubos de fibra envueltos por una cubierta protectora que van rodeando un miembro central de refuerzo. Toma su nombre de holgado al llevar varias fibras que descansan dentro del tubo que comúnmente se encuentra lleno de gel resistente generando un elevado rendimiento tanto para ambientes no adecuados como para proteger de fuerzas mecánicas que puedan ejercer sobre el cable (Fibremex, 2020). La **Figura 30** muestra como está formado un cable de fibra óptica de estructura holgada.

Figura 30

Cable de fibra óptica de estructura holgada



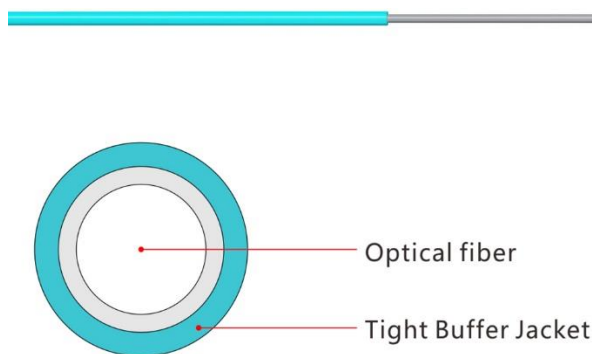
Autor: (Camara, 2015)

- **Fibra óptica de estructura ajustada**

También conocidos como Tight Buffer, este cable es más utilizado en interiores por ser más flexible, aunque incrementa el riesgo de pérdidas por micro curvaturas. Cuenta con un manto que recubre al núcleo de 125 μm de diámetro, un recubrimiento primario de 250 μm de diámetro y un revestimiento secundario de 900 μm . Son capaces de soportar temperaturas desde los -40°C hasta $+70^{\circ}\text{C}$ (Velasco, 2018). La **Figura 31** detalla cómo está constituido el cable de estructura ajustada.

Figura 31

Composición de un cable de fibra óptica con estructura ajustada



Autor: (Hanxin, 2020)

Normativas para cables de fibra óptica

Por lo general, las normativas para los cables de fibra óptica incluyen especificaciones sobre el rendimiento, calidad, requisitos ambientales y las pruebas para garantizar la interoperabilidad y la confiabilidad de las redes de comunicaciones basadas en fibra óptica. La ITU-T estableció la serie G65x como el grupo de estándares para cables monomodo en todo el mundo, los cuales definen el radio de curvatura máximo del cable de fibra óptica, en la **Tabla 9** se presentan algunos estándares de la ITU-T 65x con su valor máximo de radio de curvatura.

Tabla 9*Estándar G65x*

Estándar	Radio máximo de curvatura
G.652	25 mm.
G.657.A1	10 mm.
G.657.A2/B2	7,5 mm.
G.657.B3	5 mm.

Autor: (Tanna, 2022)

Otro estándar que destacar es el TIA 598C, el cual establece el código de colores de los hilos de fibra óptica, tal y como se observa en la **Figura 32**.

Figura 32*Código de colores según TIA 598C*

Colores para Fibras Individuales (según estándar TIA-598-C)			
Posición	Color	Posición	Color
1	Azul	13	Azul con línea negra
2	Naranja	14	Naranja con línea negra
3	Verde	15	Verde con línea negra
4	Marrón	16	Marrón con línea negra
5	Gris	17	Gris con línea negra
6	Blanco	18	Blanco con línea negra
7	Rojo	19	Rojo con línea negra
8	Negro	20	Negro con línea amarilla
9	Amarillo	21	Amarillo con línea negra
10	Violeta	22	Violeta con línea negra
11	Rosa	23	Rosa con línea negra
12	Turquesa	24	Turquesa con línea negra

Autor: (TIA, 2018)

2.3.4.2. Conectores de fibra óptica

Los conectores son elementos que se colocan en el extremo de un cable de fibra óptica los cuales permiten una conexión y desconexión rápida a diferencia de un empalme. Para tener

una comunicación estable es necesario alinear correctamente las fibras de vidrio microscópicas. Existe variedad de conectores, entre los más populares del mercado se presentan los siguientes:

- **Conector óptico FC**

Ferrule Connector (Conector de Ferrule) de la **Figura 33** fue el primer conector óptico con ferrule cerámico. Es un conector roscado, lo que permite soportar vibraciones, ideal para aplicaciones donde esté sometido a movimiento. Diseñados para fibras monomodo, cuentan con una pérdida de inserción de 0,3 dB.

Figura 33

Conector óptico FC



Autor: (López C. , 2017)

- **Conector óptico ST**

Straight Tip (Punta recta) de la **Figura 34** es un conector utilizado en entornos profesionales tales como redes corporativas o de ámbito militar. Posee similares características que el conector FC, aunque su ajuste es de tipo BNC (Bayonet Neill-Concelman). Diseñados para fibras multimodo, generan pérdidas de inserción alrededor de los 0,25 dB.

Figura 34

Conector óptico ST



Autor: (López C. , 2017)

- **Conector óptico LC**

Little Connector (Conector Pequeño) de la **Figura 35** es un conector desarrollado en 1997 que cuenta con conexión Push and Pull similar al RJ45, gracias a su tamaño compacto y mejor seguridad en comparación con los conectores SC, utilizado en fibras monomodo generan pérdidas de 0,10 dB.

Figura 35

Conector óptico LC



Autor: (López C. , 2017)

- **Conector óptico SC**

Square Connector (Suscriptor cuadrado) de la **Figura 36** es considerado como el más popular en el mercado gracias a que su precio de fabricación es cada vez menor. Su conexión se realiza a presión y se utiliza en FTTH, telefonía IP, TV por cable, etc. Este conector puede ser usado en fibras multimodo y monomodo con pérdidas de 0,25 dB.

Figura 36

Conector óptico SC



Autor: (López C. , 2017)

2.3.4.3. Adaptadores de fibra óptica

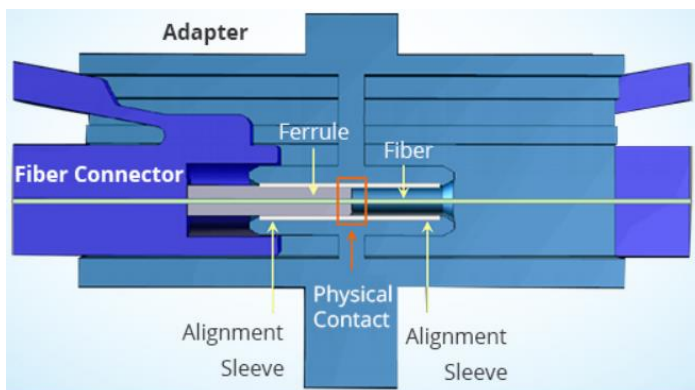
En una instalación de fibra óptica es común encontrar adaptadores ópticos en las cajas de fibra, siendo un método para reemplazar las fusiones. En el mercado existe una gran variedad de estos elementos.

Existen adaptadores para cualquier tipo de conector existente en el mercado tal y como se observa en la **Figura 37**.

El funcionamiento de los adaptadores se enfoca en la alineación perfecta entre cada núcleo de la fibra mediante una férula de 2,5 mm de diámetro y un manguito de alineación que se encarga de juntar las férulas de los dos conectores en un punto medio aproximado. (FS community, 2020)

Figura 37

Composición de un adaptador de fibra óptica



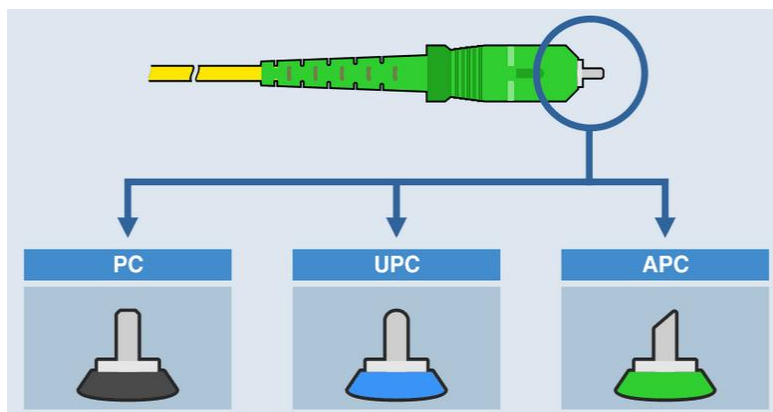
Autor: (FS community, 2020)

2.3.4.4. Tipos de pulido

En los sistemas de alta sensibilidad como la fibra óptica es necesario que entre conectores o adaptadores tengan una unión entre férulas lo más exacta posible, de tal forma que exista un mínimo de pérdidas, para ello se han diseñado diferentes tipos de pulidos para férulas, las cuales se presentan a continuación en la **Figura 38**.

Figura 38

Pulidos de férula de fibra óptica



Autor: (Promax, 2019)

La **Tabla 10** explica las características de cada tipo de pulido visualizado en la figura anterior, donde se especifican los nombres, las abreviaturas, el tipo de superficie, su uso y cuánto reducen las pérdidas ópticas.

Tabla 10

Pulidos de las férulas de fibra óptica más conocidas

Nombre	Abreviatura	Superficie	Uso	Reducción de pérdidas
Physical Contact	PC	Plana	Cada vez más en desuso	Entre -30 dB y -40 dB
Ultra Physical Contact	UPC	Curva más pronunciada	Pruebas de uso de red con OTDR	Entre -40 dB y -55 dB
Angled Physical Contact	APC	Plana, inclinada 8 grados	En fibras monomodo	Hasta -60 dB

Autor: (Promax, 2019)

2.3.4.5. Empalmes

Los empalmes son técnicas utilizadas para crear una unión entre dos fibras o también para colocar conectores. Existen dos tipos de conectores:

- **Mecánicos**

Este tipo de empalme son usados comúnmente para fibra multimodo y para la restauración temporal en ambientes externos y de manera permanente para ambientes internos. Este dispositivo alinea los extremos de las fibras mediante un gel igualador de índice.

Antes de realizar el empalme se necesita pelar, limpiar, cortar las fibras donde se realizará el empalme, dejar al descubierto la longitud necesaria de fibra pelada, utilizar una cortadora de precisión para disminuir las pérdidas y proceder a realizar el empalme. La **Figura 39** muestra un ejemplo del dispositivo utilizado en los empalmes mecánicos.

Figura 39

Empalme mecánico de fibra



Autor: (SilexFiber, 2014)

- **Por fusión**

Este es el método más utilizado y confiable para realizar empalmes de fibra debido a que brinda pérdidas mucho más bajas y genera menor reflectancia, además este tipo de unión es más confiable y seguro. En fibras monomodo los empalmes casi siempre se los realiza por fusión generando pérdidas de tan sólo 0,03 a 0,05 dB (Sani, 2022, pág. 18). Para este tipo de empalmes es necesario contar con una herramienta extra llamada Fusionadora, la cual alinea 2 fibras previamente cortadas y limpias para soldarlas mediante electrodos controlando que las pérdidas en la fusión sean las mínimas posibles. En la **Figura 40** se observa un ejemplo de empalme por fusión.

Figura 40

Empalme por fusión



Autor: (Fibraopticahoy, 2012)

2.3.4.6. Distribuidores de fibra óptica

Un Distribuidor de fibra óptica (abreviado ODF) es un accesorio fabricado con una alta resistencia mecánica que facilita el manejo y protección de grandes cantidades de cable, fusiones, conectores, etc. dentro de la instalación.

Según las especificaciones requeridas para la instalación de la red, es recomendable conocer factores como la cantidad de fibra a distribuir, la manejabilidad requerida para el acceso según el entorno de gestión, la flexibilidad y la protección brindada para los elementos.

Existen en el mercado diferentes marcas de distribuidores con cantidad de fibra que van desde 6, 12, 24, 48 puertos para conectores (FS community, 2021).

Existen 3 tipos de distribuidores de acuerdo con el tipo de montaje: en pared, en rack, en suelo.

- **Montaje ODF en rack**

Este tipo de montaje como su nombre lo dice tiene un diseño ideal para instalarlo en un rack para mantenerlo firme y accesible según las especificaciones requeridas. En la **Figura 41** se observa un ODF en rack para 24 cables de fibra.

Figura 41

ODF en rack



Autor: (BlinkenTech, 2020)

- **Montaje ODF en pared**

Este tipo de montaje es similar a una caja que puede ser empotrada a cualquier pared, ideal para la construcción de centros de datos, aplicaciones empresariales y redes troncales. En la **Figura 42** se observa un ODF en pared para 48 cables de fibra.

Figura 42

ODF en pared



Autor: (FS community, 2022)

- **Montaje ODF en suelo**

Similar al montaje en pared, este tipo de montaje posee una estructura cerrada y está diseñado para un ambiente donde la fibra se encuentra relativamente fija.

2.3.4.7. Cajas de empalme

Es un accesorio que, como su nombre lo dice es una caja que resguarda cualquier fusión, multiplexación, uso de conectores o cualquier otra operación de fibra con el fin de proteger los cables de cualquier condición ambiental o esfuerzo físico. Existen cajas para interiores y exteriores, donde para estos últimos existen categorías para tendido aéreo o tendido subterráneo. Entre las cajas de distribución se destacan las cajas tipo Mondragón y tipo Torpedo como se muestra en la **Figura 43** respectivamente de izquierda a derecha.

Figura 43

Cajas de distribución Tipo Mondragón (izquierda) y Tipo Torpedo (derecha)



Autor: (Openetics, 2016), (Silex Fiber, 2014)

Dentro de las cajas de empalme se albergan unos elementos conocidos como cassette de empalme cuya función es alojar una reserva de fibra y mantener fijos los empalmes de fibra tanto mecánicos como fusiones. Están diseñados para dividir en secciones individuales cada fibra alojada sin interrumpir la señal de las otras. La **Figura 44** indica un ejemplo de cassettes de empalme.

Figura 44

Cassettes de empalme



Autor: (Openetics, 2016)

2.3.4.8. Patchcords

Es un elemento usado en la instalación entre los distribuidores y los equipos ópticos, cuentan con una longitud de entre 1 a 30 metros y en sus dos extremos vienen instalados conectores para facilitar la interconexión de equipos. En la **Figura 45** se puede observar este elemento.

Figura 45

Patchcord de fibra óptica



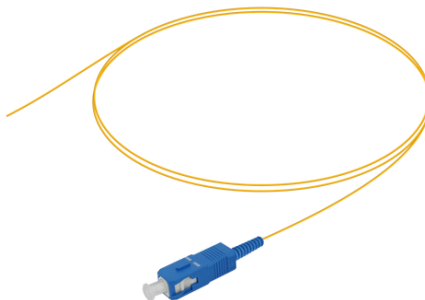
Autor: (OptyTech, s.f.)

2.3.4.9. Pigtails

Es un elemento que cuenta con similares características a las de un Patchcord, aunque con la diferencia de contar solamente con un conector en un extremo, el otro extremo debe ser usado para empalme. La **Figura 46** muestra un ejemplo de Pigtail.

Figura 46

Cable Pigtail para fibra óptica



Autor: (Samm, 2022)

2.3.5. Instrumentos de medición de fibra óptica

Son herramientas utilizadas en el estudio y en la práctica profesional de fibra óptica que ayudan a identificar errores en la red como cortes en el cable o niveles de potencia.

2.3.5.1. OPM

El medidor de potencia óptica (Optical Power Meter en inglés) es un instrumento electrónico que se utiliza para medir la potencia de la señal que se transmite por un medio óptico y que a través de la pantalla se visualizan las pérdidas que resulta de resta entre la pérdida del cable y la potencia emitida por una fuente de luz. El resultado tiene por unidad dBm y signo negativo (FS community, 2020). En la **Figura 47** se muestra un ejemplo de un OPM básico.

Figura 47

Optical Power Meter



Autor: (FS community, 2020)

2.3.5.2. OTDR

El OTDR o Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo es una herramienta electrónica utilizada para la supervisión y control de los enlaces de fibra óptica cuyo fin es calcular la distancia en la que se encuentra alguna posible anomalía dentro del medio óptico a través de pulsos luminosos enviados ida y vuelta, de acuerdo con el tiempo que tarda en regresar la luz al OTDR se determina aproximadamente el punto donde la señal se cortó. Un ejemplo de OTDR se puede observar en la **Figura 48**.

Figura 48

OTDR

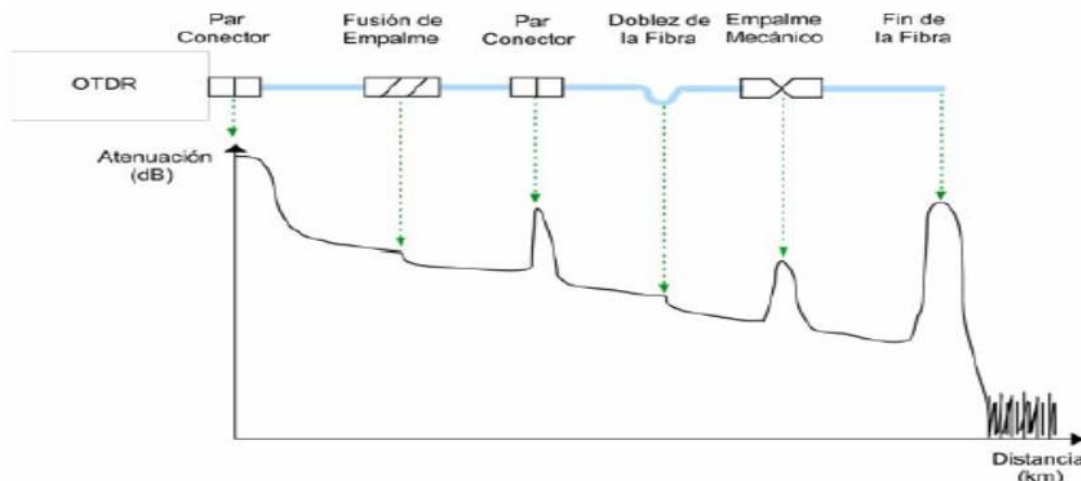


Autor: (Paredes, 2017)

En la pantalla de un OTDR visto en la **Figura 49** se puede observar las diferentes atenuaciones que pueden suceder alrededor de un cable de fibra óptica durante todo el recorrido de la luz emitida con sus respectivos símbolos.

Figura 49

Análisis del resultado de un OTDR



Autor: (Valverde, 2015)

2.3.6. Arquitectura de redes ópticas FTTx

“Fiber To The x” es un grupo de topologías que describe el despliegue y acceso a la red por medio de fibra óptica y sus componentes, donde la x define aplicación del servicio que, dependiendo del entorno donde se implemente puede ser implementado en el hogar, oficina, centro de datos, entre otros. La **Tabla 11** indica las diferentes topologías existentes para FTTx con sus respectivas características.

Tabla 11

Topología de red FTTx

Topología	Abreviatura	Tipo fibra	Distribución	Velocidad
Fiber To The Node	FTTN	Fibra óptica y cable coaxial (Exterior)	200 – 500 hogares por fibra	30 Mbps
Fiber To The Curb	FTTC	Fibra óptica y par de cobre (Exterior)	10 – 100 hogares por fibra	50 Mbps
Fiber To The Building	FTTB	Fibra óptica (Exterior) y par	32 hogares por fibra	100 Mbps

		de cobre (Interior)		
Fiber To The Home	FTTH	Enteramente Fibra óptica	1 hogar por fibra	Más de 100 Mbps

Autor: (Lattanzi, 2021)

2.3.6.1. FTTN

Conocida en español como Fibra hasta el Nudo o hasta el Vecindario es una arquitectura que tiene la capacidad de atender a cientos de clientes conformada por un cable de fibra que avanza desde el proveedor y termina en una cabina donde se usa cable par trenzado o coaxial con una distancia mayor a los 300 metros para llegar a la última milla.

2.3.6.2. FTTC

Conocida en español como Fibra hasta la acera o hasta el armario es una arquitectura que ofrece mayor capacidad de ancho de banda más allá de las redes tradicionales, tiene la capacidad de atender hasta cien clientes y su infraestructura se despliega mediante cable de fibra desde el proveedor hasta un armario de Telecomunicaciones y llegar a la última milla mediante cable par de cobre.

2.3.6.3. FTTB

Conocida en español como Fibra hasta el edificio o hasta el sótano es una arquitectura que tiene como característica conectar el cable de fibra óptica desde el proveedor hasta las oficinas o departamentos del edificio, ya en el interior del edificio se utiliza cable coaxial o par trenzado alcanzando velocidad de hasta 10 Mbps. (Focc, 2020)

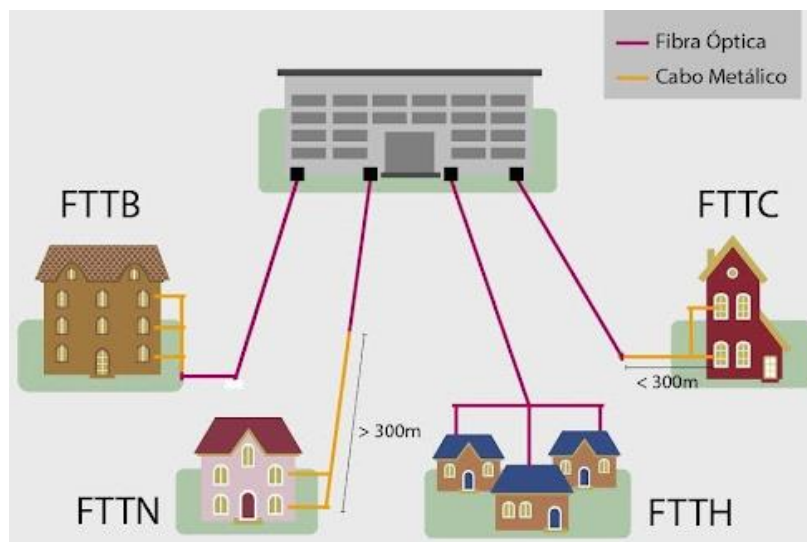
2.3.6.4. FTTH

La Fibra hasta el hogar (Fiber To The Home) es una arquitectura de red compuesta fundamentalmente por fibra óptica que se despliega desde la central hasta llegar a un equipo terminal ubicado en el hogar del usuario final, esta configuración es la más común de las conexiones en el servicio de internet actualmente. De acuerdo con (Tinoco, 2011, pág. 1) “La tecnología FTTH es capaz de soportar la demanda de ancho de banda que se tendrá a futuro con aptitud para los servicios multimedia ofrecidos en la actualidad”.

La **Figura 50** representa un resumen de todas las arquitecturas estandarizadas para Fiber To The x.

Figura 50

Ejemplo Fiber To The x



Autor: (Cesari, 2019)

2.3.7. Tecnologías de redes PON

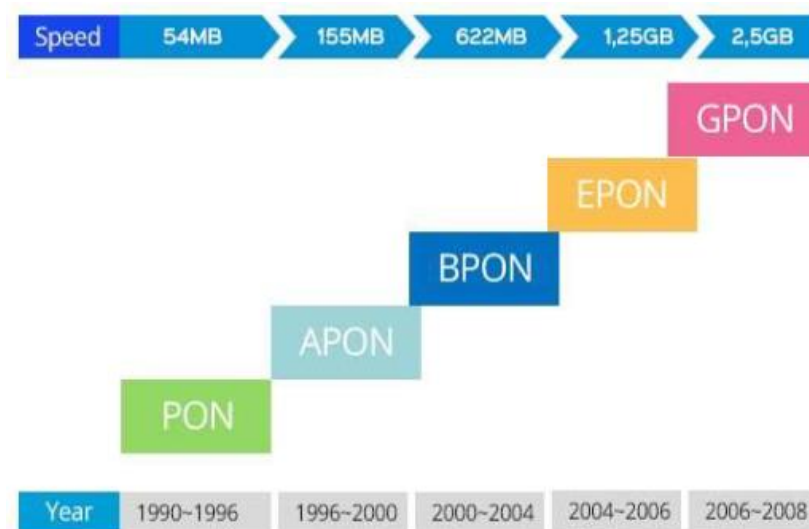
Una Red Óptica Pasiva (en inglés Passive Optical Network) es un tipo de red que permite brindar mejores servicios y un mayor ancho de banda a los usuarios al contar con accesos de

fibra óptica. Gracias al uso de este tipo de redes es posible reemplazar elementos activos por elementos pasivos, disminuyendo considerablemente los costos. PON es conocida por ser utilizada en redes FTTH.

Con el fin de complementar las redes PON, se han diseñado tecnologías que mejoran o cubren las necesidades según el medio, en la **Figura 51** se aprecia la evolución de las redes PON.

Figura 51

Evolución de las tecnologías PON



Autor: (Paradiso, 2020)

2.3.7.1. APON

ATM Passive Optical Network, estándar basado en la recomendación ITU-T G.983 es el primero en ser desarrollado para las redes PON, se basa en la transmisión de tráfico ATM. Esta tecnología es capaz de adaptarse a distintas arquitecturas de red como FTTH, FTTB, FTTC.

(Gerediaga, 2011)

Entre las características técnicas se puede destacar la transmisión de datos en el canal de bajada con ráfagas de celdas que van a una tasa de bits de 155 Mbps divididas por el número de ONUs conectadas a la OLT; para el canal de subida la tasa de bits es de 155 Mbps. Soporta un número máximo de 32 usuarios por puerto a una distancia de 20 km. (Paradiso, 2020)

2.3.7.2. BPON

Broadband PON es un estándar basado en APON, el cual cuenta con mejoras como el uso de la multiplexación por longitud de onda (WDM) con el fin de incrementar el ancho de banda y otras mejoras. BPON está definido en algunas revisiones de la recomendación ITU-T 983 que va desde la 983.1 hasta la 983.8. (Gerediaga, 2011)

2.3.7.3. EPON

Ethernet PON es un estándar basado en la recomendación IEEE 802.3h cuya diferencia con los anteriores estándares es el transporte de tráfico por medio de Ethernet en lugar de ATM, es decir, que se apega a la norma IEEE 802.3, mejorando así la seguridad, la calidad de servicio, el tráfico IP, velocidades de transmisión simétricas (Gigabit), distancias de hasta 20 km, entre otros. (Paradiso, 2020)

2.3.7.4. GPON

El estándar Gigabite-Capable PON es una evolución de la tecnología BPON, la cual es una tecnología definida en la recomendación ITU-T: G.984.x.

G.984.x especifica las características técnicas de las redes PON, incluyendo la topología de la red, el protocolo de transmisión, la gestión de la red, la seguridad y la calidad de servicio,

así como también las especificaciones detalladas sobre componentes de la red, como transmisores y receptores ópticos. Las siguientes secciones de G.984.x son recomendaciones que se enfocan en el desarrollo de una red GPON:

2.3.7.5. ITU-T G.984.1

Esta recomendación describe una red de acceso de fibra óptica flexible capaz de soportar requisitos de ancho de banda tanto para servicios comerciales como residenciales con velocidades nominales de 2,4 Gbps en Downlink y 1,2 Gbps en Uplink. Esta recomendación propone características generales para GPON en base a los requerimientos de servicio de los operadores. (ITU-T, 2008)

- Topología de árbol: Topología en la que una única fibra óptica se divide en varios usuarios finales.
- Multiplexación por división de tiempo (TDM): La señal óptica se multiplexa en tiempo división, generando que varios usuarios compartan una misma fibra óptica.
- Ancho de banda: Hasta 2,488 Gbps para el enlace de fibra óptica.
- Alcance: El alcance máximo de un sistema PON es de 20 kilómetros.
- Divisiones de longitud de onda (WDM): Se utilizan dos divisiones de longitud de onda para transmitir señales ópticas en un sistema PON.
- Eficiencia espectral: Hasta un 31% para la transmisión de señales ópticas en un sistema PON.

2.3.7.6. ITU-T G.984.2

Es una recomendación importante en el campo de las redes de fibra óptica pasiva enfocada en la tecnología PON conocida como GPON (Gigabit-Capable PON), donde especifican sus requisitos técnicos esenciales para que los proveedores de servicios de telecomunicaciones logren brindar servicios de banda ancha y de voz de alta velocidad (2,5 Gbps Downlink / 1,25 Gbps Uplink) y calidad a los usuarios finales de forma eficiente y segura. (ITU-T, 2019)

2.3.7.7. ITU-T G.984.3

En esta recomendación se describe la capa de convergencia de transmisión para redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit, redes de acceso flexibles que permiten proporcionar una variedad de servicios de banda ancha y banda estrecha (ITU-T, 2014). Además, se incluyen las siguientes especificaciones:

- Entramado de capa de convergencia de transmisión (GTC) de GPON.
- Mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo en sentido ascendente.
- Canal de mensajería de operación, administración y mantenimiento (OAM) de la capa física.
- Principios y mecanismo de señalización de la asignación dinámica de ancho de banda en sentido ascendente.
- Método de activación de la unidad de red óptica (ONU).
- Corrección de errores hacia adelante.
- Seguridad.

2.3.7.8. ITU-T G.984.4

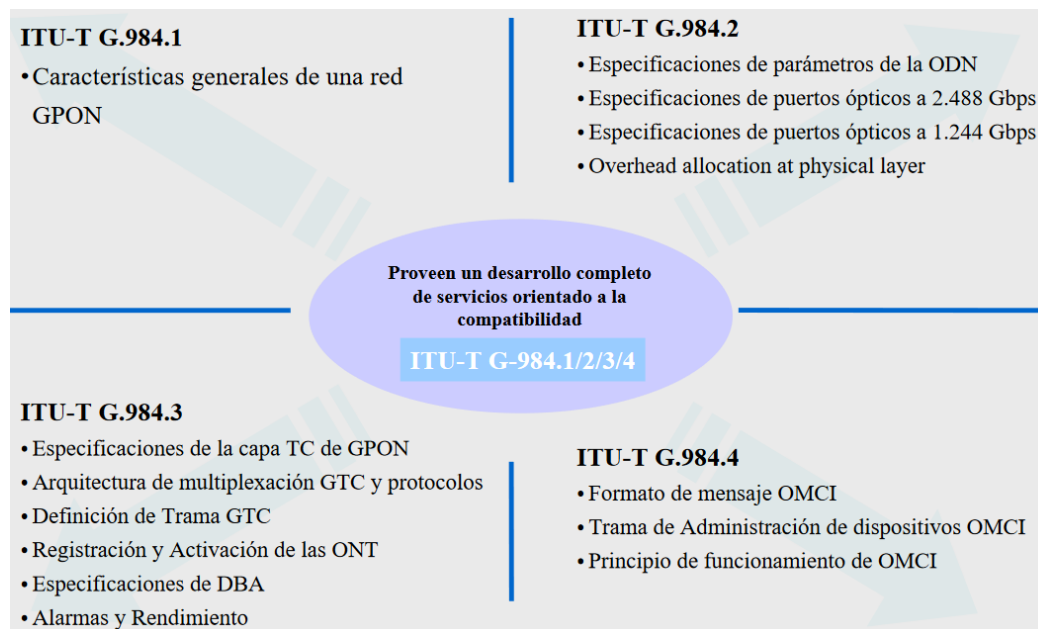
La presente recomendación proporciona la especificación de la interfaz de control y gestión (OMCI) de terminación de red óptica (ONT) para sistemas de red GPON definida en las recomendaciones G.984.2 y G.984.3 (ITU-T, 2008).

- Especifica las entidades gestionadas de una base de información de gestión (MIB) independiente del protocolo que modela el intercambio de información entre la terminación de línea óptica (OLT) y la terminación de red óptica (ONT).
- Cubre el canal de gestión y control de la ONT, el protocolo y los mensajes detallados.

La **Figura 52** indica las principales características de las 4 recomendaciones de la ITU-T G.984.x para el estándar GPON.

Figura 52

Recomendaciones establecidas para el estándar GPON



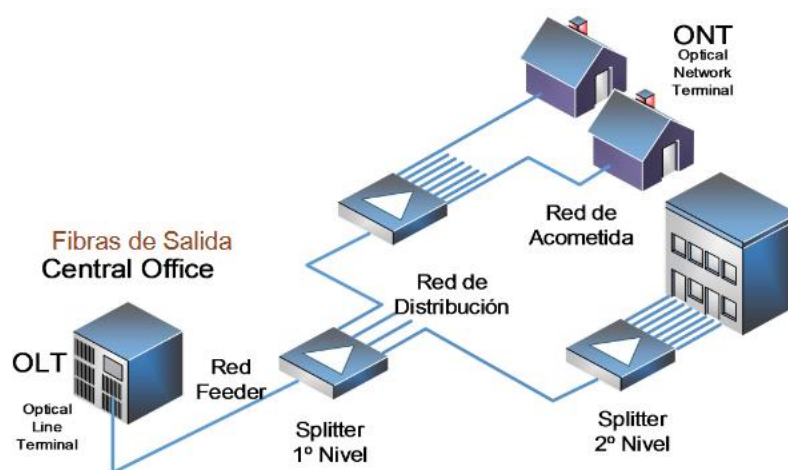
Autor: (Lattanzi, 2021)

2.3.8. Arquitectura FTTH GPON

Una red GPON para FTTH se clasifica en dos tipos de elementos; los elementos activos se componen de equipos que se encuentran en los extremos tanto en la oficina central (OLT) como en los clientes (ONT); y los elementos pasivos como cables, divisores ópticos, conectores, empalmes de fusión (Heredia, 2016). En la **Figura 53** se observan los elementos involucrados en una red GPON usando Fiber To The Home.

Figura 53

Modelo de red GPON para FTTH



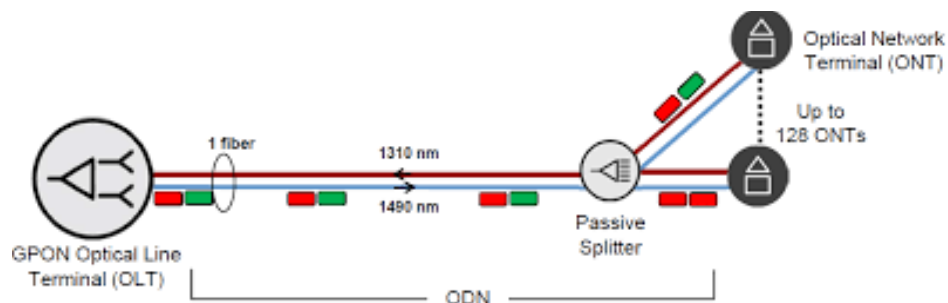
Autor: (López E. , 2013)

2.3.8.1. ODN

ODN son las siglas para Optical Distribution Nodes que, al igual que lo indica su nombre, es un nodo que se encarga de distribuir la señal óptica que se parte del edificio central hacia los clientes implicados en la red. La distancia del cable de fibra dentro de la ODN es de menos de 20 km. En todo este trayecto están involucrados elementos pasivos como tramos de fibra, Splitters, empalmes, conectores, entre otros (Marchukov, 2011). La **Figura 54** muestra cómo está compuesto un nodo de distribución óptica.

Figura 54

Composición de una red FTTH



Autor: (Corcoran, 2015)

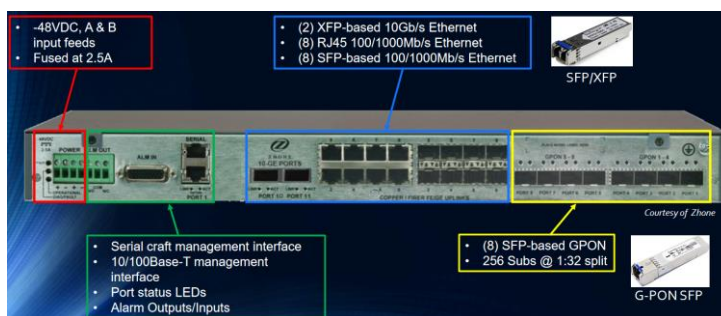
2.3.8.2. OLT

OLT son las siglas para Optical Line Termination es un elemento activo utilizado en una red FTTH de donde parten las fibras ópticas que se conecta con la ODN para distribuir la información mediante un haz láser a los usuarios por medio de técnicas de multiplexación como WDM y TDMA.

Una OLT está compuesta por un chasis, un módulo de control de conmutación, un ELM módulo de enlace EPON, tarjeta PON, protección de redundancia, módulos de fuente de alimentación, ventiladores, entre otros módulos internos integrados (Revelo, 2019). En la **Figura 55** se observa una OLT indicando las características antes mencionadas.

Figura 55

OLT



Autor: (Corcoran, 2015)

2.3.8.3. *ONT y ONU*

ONT (Optical Network Terminal) y ONU (Optical Network Unit), nombres establecidos por la ITU-T y por la IEEE respectivamente, ambos son dispositivo de fibra óptica activa para interiores que utilizan tecnología GPON y se ubica en el lado del cliente en la última milla. Se encargan de recibir la señal que parte desde la OLT y viaja por la ODN llegando a los hogares mediante puerto óptico o Ethernet. Tienen un rango de transmisión de 2,5 Gbps en bajada y 1,25 Gbps en subida. Cuentan con los mismos parámetros de atenuación que una OLT (Tinoco, 2011). Un ejemplo del equipo conocido como ONT u ONU presentado en la **Figura 56**.

Figura 56

ONT de fibra óptica



Autor: (MyRepublic, 2017)

2.3.8.4. *Divisor óptico*

Un divisor óptico o Splitter es un divisor de potencia de señal que dentro de una red óptica permite implementar una arquitectura Punto a Multipunto, haciendo que la señal principal se divida en diferentes señales y llegar a diferentes usuarios. Es común encontrarse con esta división de señales en la arquitectura FTTH.

Según (Furukawa, 2021), los Splitters ópticos son componentes pasivos que realizan la división de la señal óptica en una red PON (Red Óptica Pasiva). Están constituidos por una o dos

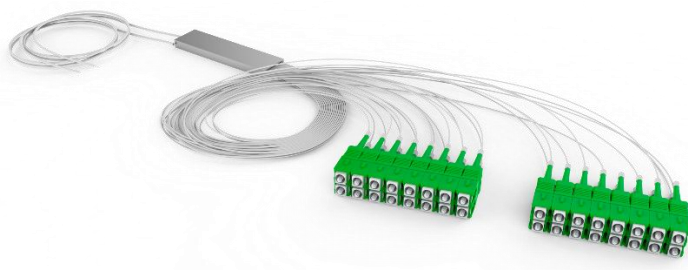
fibras de entrada y n fibras de salida, las cuales dividen la potencia de la señal óptica en proporción entre ellas, caracterizándolos como Splitters balanceados.

Dentro de la división óptica, un Splitter

A continuación, en la **Figura 57** se presenta un ejemplo de Splitter 2x32.

Figura 57

Splitter 2x32



Autor: (Furukawa, 2019)

Entre las capacidades de división que posee en su salida un divisor óptico bordan desde dos divisiones y pueden continuar en múltiplos de cuatro (1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32). Por cada división que ocurre, la potencia de la señal de salida de cada una se atenúa en 3 dB teóricamente, sin embargo, se recomienda revisar la hoja de datos de los fabricantes. (López E. , 2013).

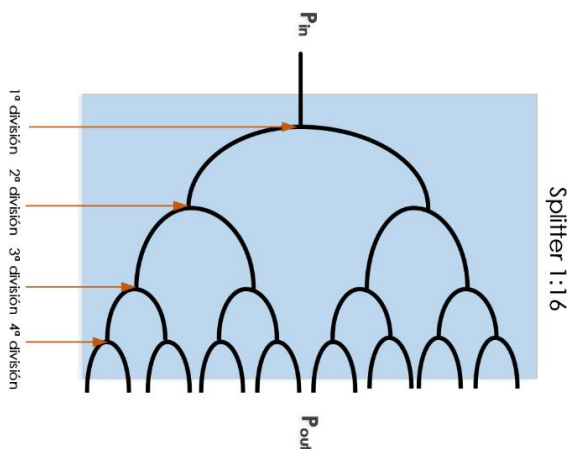
- **Niveles de Spliteo**

Hace referencia a una conexión en cascada entre la salida de un primer Splitter con la entrada de un segundo Splitter y así progresivamente. Dentro de las redes FTTH es posible tener diferentes niveles de Spliteo con el fin de multiplicar el número de puertos en la red. Es decir, si en una red FTTH se necesita llegar a 64 clientes, es posible colocar un Splitter con un primer nivel de 1x4 y un segundo nivel de 1x16. De acuerdo con la **Figura 58**, se observa cómo está compuesto un Splitter 1x16 mediante cuatro niveles distribuidos en Splitters de 1x2, por lo que es imprescindible tomar en cuenta la potencia de salida del OLT (dBm) versus las pérdidas de

potencia por atenuación de cada Splitter (dB) para contar con el nivel de potencia adecuado para la transmisión dentro de la red.

Figura 58

Niveles de Spliteo



Autor: (López E. , 2013)

Si se toma en cuenta que en cada división existe una pérdida de 3 dB, la fórmula para el cálculo de pérdidas por división es: Etapa de división (n) x 3dB, la **Tabla 12** muestra la pérdida teórica de los Splitters.

Tabla 12

Pérdidas por división en un Splitter

División (n)	Tasa de Spliteo	Pérdidas por división
1	1x2	3 dB
2	1x4	6 dB
3	1x8	9 dB
4	1x16	12 dB
5	1x32	15 dB

Autor: (López E. , 2013)

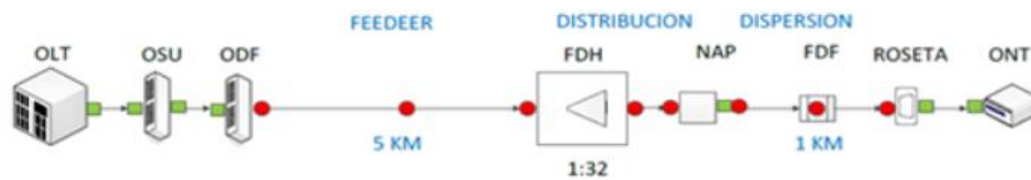
Nota: El número de salidas de la tasa de Spliteo se calcula mediante el valor de la División como potencia con base 2, es decir; $1 \times 2^3 = 1 \times 8$.

2.3.8.5. Cálculo del presupuesto del enlace óptico

Es una operación matemática que consiste en sumar las potencias y pérdidas que se generan alrededor de la red de fibra óptica. La **Figura 59** indica las posibles pérdidas y ganancias con respecto al enlace FTTH.

Figura 59

Esquema de presupuesto óptico



Autor: (Dik, 2015)

Al momento de realizar el diseño de una red de fibra es necesario evaluar el presupuesto de atenuación aceptable para instalar una infraestructura que cumpla con las necesidades de la aplicación. Para poder realizarlo se necesita considerar los siguientes parámetros:

- Potencia del módulo transmisor
- Conexiones de fibra (Splitters, conectores y empalmes)
- Pérdida en el cable de fibra óptica
- Sensibilidad del dispositivo receptor
- Margen de seguridad y reparaciones

Los valores de potencia y atenuación se ven detallados en las hojas de datos correspondiente a cada componente. En la **Tabla 13** y la **Tabla 14** se han detallado los valores teóricos de los componentes más importantes.

Tabla 13

Valores de potencia de la OLT

Módulos de Servicio SFP GPON

	Módulo B+	Módulo C+
Potencia	+1,5 dBm a +5 dBm	+4 dBm a +7 dBm
Potencia promedio	2,5 dBm	5 dBm
Saturación	-8,0 dBm	-12,0 dBm
Sensibilidad	-29 dBm	-31 dBm

Autor: Creación propia

Tabla 14

Pérdida de componentes pasivos

Pérdida de componentes pasivos	
Componente	Atenuación
Cable de fibra óptica	0,36 dB/km en 1310 nm
Empalmes por fusión	Menor o igual entre 0,08 dB a 0,1 dB
Empalmes mecánicos	Menor o igual a 0,3 dB
Adaptadores	Menor o igual a 0,1 dB
Conectores	Menor o igual a 0,2 dB
Margen de seguridad	1 dB

Autor: Creación propia

Nota: En la **Tabla 12** vista anteriormente se encuentran las atenuaciones teóricas de los Splitters.

Tomando en cuenta los parámetros anteriores, es posible obtener un resultado teórico del presupuesto de potencia con la **Ecuación 12**.

Ecuación 12

Cálculo del presupuesto de potencia

$$Ate_{\cdot tot} = Pot_{tx} - Ate_{\cdot cab} - Ate_{\cdot con} - Ate_{\cdot adp} - Ate_{\cdot emf} - Ate_{\cdot emm} - Ate_{\cdot spl} - Marg.$$

$$Satu. \geq Ate_{\cdot tot} \geq Sens.$$

Donde:

$Ate_{\cdot tot}$ = Atenuación Total

Pot_{tx} = Potencia transmisor

$Ate_{\cdot cab}$ = Atenuación cables

Ate_{con} = Atenuación conectores

Ate_{adp} = Atenuación adaptadores

Ate_{emf} = Atenuación empalmes por fusión

Ate_{emm} = Atenuación empalmes mecánicos

Ate_{spl} = Atenuación Splitter

Marg. = Margen de seguridad

Sens. = Sensibilidad

Satu. = Saturación

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA RED HÍBRIDA PUNTO A PUNTO - FTTH GPON

En este capítulo se aborda el desarrollo del diseño de la red híbrida, tomando en cuenta las normativas y elementos mencionados en el capítulo anterior de acuerdo con las necesidades a cubrir dentro de la red según la información, materiales, equipos y accesibilidad de la empresa REDESTEL S.A., empresa que colabora con el presente proyecto de titulación.

El diseño de la red híbrida está dividido en dos bloques:

El primer bloque está enfocado en la transmisión por radioenlace del servicio de internet que parte desde su arrendamiento al ISP FIBRAMAX y llega al nodo principal de REDESTEL ubicado en la ciudad de Pimampiro, desde allí la señal óptica ingresa a un Switch de Core por una entrada SFP+ y es transformada a señal eléctrica la cual, mediante un cable UTP categoría 6E llegará a un Switch de Distribución para finalmente transformar la señal en ondas electromagnéticas y ser transmitidas mediante una antena direccional a través de un enlace Punto a Punto. Dichas ondas viajarán hacia el primer destino vía microondas donde serán recibidas por una antena receptora ubicada en la estación repetidora en el cerro Cabras, mediante un cable de red envía la señal eléctrica un Switch de Acceso que conecta con la antena transmisora que vuelve a transformar la señal en ondas electromagnéticas y enviarlas a una antena receptora ubicada en la Estación de Carpuela.

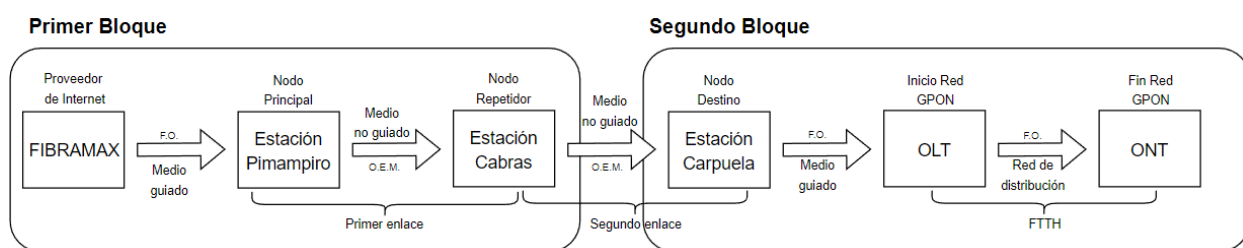
El segundo bloque comprende el despliegue de la red FTTH (Fiber To The Home) basada en los estándares GPON G984.x, donde la señal recibida por la antena de Carpuela ingresará por la OLT para ser transformada en señales ópticas que serán enviadas por el puerto GPON hacia

los elementos pasivos que conforman la arquitectura FTTH hasta llegar a las unidades de red óptica (ONU) ubicadas en los domicilios de los clientes.

En la **Figura 60** se observa mediante un diagrama de bloques la interpretación de lo explicado anteriormente para una mejor comprensión del comienzo y fin de la red inalámbrica, así como también el comienzo y fin de la red GPON - FTTH.

Figura 60

Diagrama de bloques del diseño de la red híbrida



Autor: Creación propia

3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE REDESTEL S.A.

3.1.1. Antecedentes de la empresa

De acuerdo con (REDESTEL, 2023):

REDESTEL S.A. es una empresa de Telecomunicaciones que brinda el servicio de internet en Pimampiro, Ibarra, Antonio Ante, Cotacachi y algunos sectores rurales del Carchi, la cual día a día se encuentra ampliando su cobertura con dedicación y excelencia para lograr satisfacer las necesidades tecnológicas de los clientes.

REDESTEL, empresa que presta servicios tecnológicos en redes, informática y telecomunicaciones comenzó a brindar sus servicios desde el año 2018 en el sector rural de Pimampiro mediante radioenlaces, llegando así a extenderse en el sector de Ambuquí y ciertos

sectores de Ibarra; con el paso de los años y por consecuencia de la pandemia suscitada en marzo de 2020 la empresa comenzó a implementar el servicio de internet por fibra óptica, teniendo previsto para 2025 ser la mejor alternativa en la contratación de servicios de internet y telecomunicaciones para garantizar un óptimo desarrollo de cada una de sus actividades regidas bajo estándares de calidad y conservar la eficiencia en sus servicios profesionales, cumpliendo con las normativas vigentes.

3.1.2. Descripción actual de la red

Actualmente, la empresa REDESTEL se caracteriza por brindar servicios de internet tanto en radioenlaces como en fibra óptica.

La empresa proveedora de servicio de internet que abastece a REDESTEL es FIBRAMAX, la cual es una empresa de telecomunicaciones que brinda un servicio de excelencia, conexión de alta calidad a un precio justo, la cual se encarga de brindar apoyo a todos los proveedores que inician en el mercado de las telecomunicaciones gracias a su propia red de conectividad a nivel nacional. Actualmente, la empresa REDESTEL contrata 2000 Mbps mensualmente por el precio de 1 dólar por 1 Mbps.

A continuación, se dan a conocer los servicios que brinda la empresa REDESTEL a sus clientes.

3.1.2.1. Red Inalámbrica

A pesar de tener como objetivo migrar sus servicios de radioenlace a fibra óptica, la empresa REDESTEL se encarga de brindar sus servicios de internet a sectores descentralizados

de las principales ciudades del norte del país mediante enlaces microondas como se muestra en la **Tabla 15** a continuación.

Tabla 15

Velocidades de transmisión que ofrece REDESTEL en sus servicios de internet inalámbrico

Plan	Velocidad	Precio	Compartición
Estudiantil	5 Mbps	USD. 15.00	4:1
Hogar 1	10 Mbps	USD. 20.00	4:1
Hogar 2	15 Mbps	USD. 25.00	4:1
Hogar 3	20 Mbps	USD. 30.00	4:1
Corporativo	USD. 1.00 por cada Mbps		1:1

Autor: (REDESTEL, 2023)

Capacidad de la red: La empresa REDESTEL ofrece servicios de internet mediante radio enlaces a los siguientes sectores detallados en la **Tabla 16:**

Tabla 16

Principales sectores en los que REDESTEL ofrece servicios de internet inalámbrico

Cantón	Sector
Pimampiro	Paragachi
	Sigsipamba
	Yahuarcocha
	El Juncal
Ibarra	San Rafael
	Caldera
	Monte Olivo
Bolívar	Pueblo Nuevo
	Ajor
Cotacachi	Cotacachi centro
Antonio Ante	Atuntaqui centro
	Imantag

Autor: (REDESTEL, 2023)

3.1.2.2. Red Fibra Óptica

En vista del avance tecnológico presenciado en los últimos años en el área de las telecomunicaciones, la empresa REDESTEL brinda servicios de internet mediante enlaces de Fibra óptica a través de los nodos ubicados en Pimampiro e Ibarra. Las velocidades ofrecidas para el servicio de fibra óptica están distribuidas según se muestra en la **Tabla 17**.

Tabla 17

Velocidades de transmisión que ofrece REDESTEL en sus servicios de internet por fibra óptica

Plan	Velocidad	Precio	Compartición
Universitario	20 Mbps	USD. 17.00	2:1
Hogar 1	40 Mbps	USD. 20.00	2:1
Hogar 2	70 Mbps	USD. 25.00	2:1
Hogar 3	100 Mbps	USD. 30.00	2:1
Hogar 4	150 Mbps	USD. 35.00	2:1
Corporativo	USD. 1.00 por cada Mbps		1:1

Autor: (REDESTEL, 2023)

Capacidad de la red: Por el momento, la empresa REDESTEL brinda servicios de internet con fibra óptica en el norte del país, con relevancia en la provincia de Imbabura, siendo el cantón de Pimampiro su mayor cliente, la **Tabla 18** muestra los sectores donde se extiende la red.

Tabla 18

Principales sectores en los que REDESTEL ofrece servicios de internet por fibra

Cantón	Sector
Pimampiro	Paragachi Charguayacu

Ibarra	Sigsipamba Yahuarcocha El Juncal San Rafael Caldera Monte Olivo
Bolívar	Pueblo Nuevo Ayor
Cotacachi Antonio Ante	Cotacachi centro Atuntaqui centro Imantag

Autor: (REDESTEL, 2023)

3.2. SITUACIÓN ACTUAL DE CARPUELA

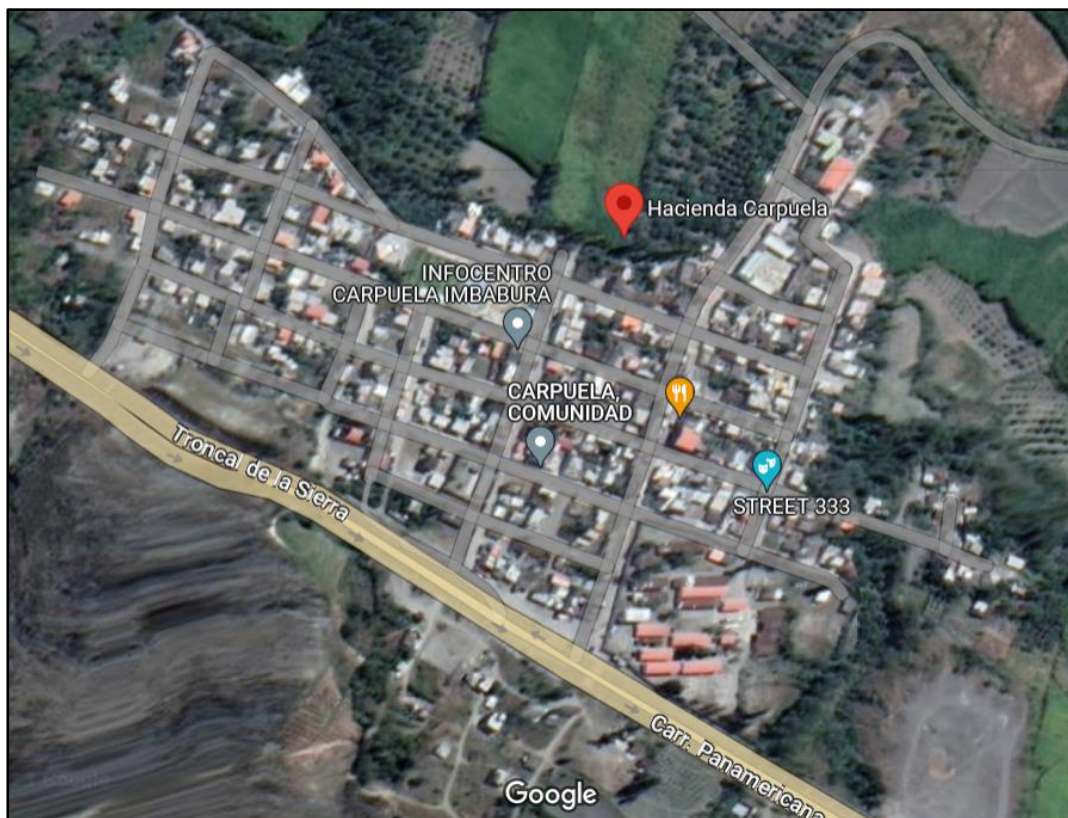
La comunidad de Carpuela será el escenario donde se desplegará la red de Fibra hasta los Hogares con la arquitectura GPON alimentada con la potencia de la señal recibida del enlace inalámbrico originada desde el nodo principal ubicado en Pimampiro.

3.2.1. Localización de Carpuela

La comunidad de Carpuela (o Hacienda Carpuela) es un poblado localizado en la provincia de Imbabura en el sector del Valle del Chota a 35 kilómetros de Ibarra por la carretera Panamericana/Troncal de la Sierra/E35. Sus coordenadas son 0°25'60"N (Latitud) y 77°58'60"W (Longitud), se encuentra ubicada en altitud a 1777 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). En la **Figura 61** se puede observar la comunidad de Carpuela vía satélite a través de Google Maps.

Figura 61

Localización de Carpuela - vista por satélite



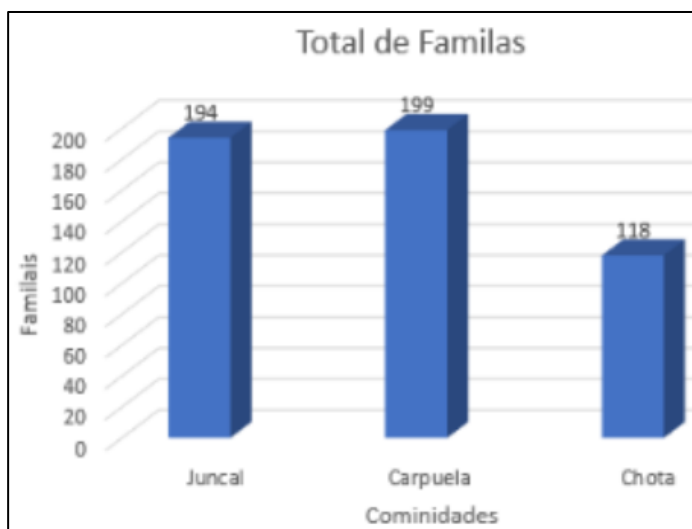
Autor: (Google Maps, 2023) Modificado: Autor

3.2.2. Población

La provincia de Imbabura está dividida en 6 cantones; entre éstos, el cantón Ibarra cuenta con un total de 5 parroquias urbanas y 7 rurales, entre éstas últimas la parroquia de Ambuquí está constituida por 3 comunidades afrodescendientes que son Juncal, Chota y Carpuela. De acuerdo con los datos receptados según (De Jesús, 2021), reflejado en la **Figura 62** se visualiza que Carpuela es la comunidad que cuenta con una mayor cantidad de familias, con un total de 199 aproximadamente, seguido de El Juncal con 194 y por último El Chota con 118 familias.

Figura 62

Número de familias dentro de las comunidades afrodescendientes

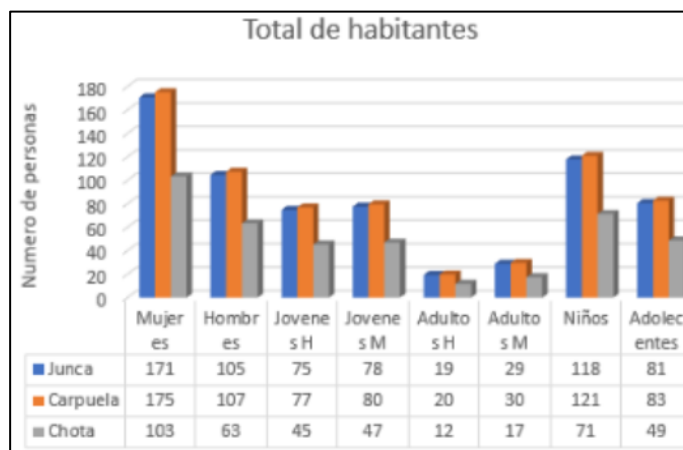


Autor: (De Jesús, 2021)

Entre las 3 comunidades afroamericanas se ha detectado un total aproximado de 1174 personas y que, al igual que en el total de familias, la comunidad de Carpuela cuenta con una mayor población, siendo un total aproximado de 692 habitantes, luego El Juncal con 674 habitantes y El Chota con tan solo 408 habitantes. En la **Figura 63** se desglosa el número de habitantes entre mujeres y hombres adultos, mujeres y hombres mayores a 65 años, adolescentes y niños de las 3 comunidades.

Figura 63

Habitantes de las comunidades afroamericanas



Autor: (De Jesús, 2021)

3.2.2.1. Muestra de la población

Para poder inferir resultados a través de una porción representativa de datos de una población se utiliza una muestra que garantice un nivel de confianza y un margen de error. Esto implica la reducción de recursos tanto económicos ya sean mano de obra y materiales, obtención de datos en menor tiempo y técnica perfecta para estudiar poblaciones muy grandes.

La población por estudiar serán familias de la comunidad de Carpuela de acuerdo con (De Jesús, 2021). Al ser una población finita se utilizará la siguiente fórmula presentada en la **Ecuación 13** permite calcular la muestra necesaria para realizar la recolección de la información dentro de una población de la cual se conoce el número de familias que pueden llegar a ser clientes futuros:

Ecuación 13

Población Finita

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra que se busca

N = Tamaño de la población o universo

Z = Parámetro estadístico dependiente del Nivel de Confianza (NC)

NC = Grado de probabilidad expresado en porcentajes como en la **Tabla 19**, cuyos valores son constantes encontradas en los textos.

Tabla 19

Tabla de nivel de confianza

Nivel de confianza	Z_{α}
99,7%	3

99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

Autor: (Ollé, 2017)

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Éxito o probabilidad de que ocurra el evento estudiado

$q = (1 - p)$ = Probabilidad de fracaso, que no ocurra el evento estudiado

Por lo tanto, se obtienen los siguientes datos:

$N = 199$ familias

$Z = 1,645$ (Nivel de confianza del 90%)

$e = 10\% \Rightarrow 0,1$ de margen de error

$p = 90\% \Rightarrow 0,9$

$q = (1 - p) = 10\% \Rightarrow 0,1$

La fórmula queda expresada de la siguiente forma ya ingresados los datos:

Tamaño de muestra

$$n = \frac{199 * 1,645^2 * 0,9 * 0,1}{0,1^2 * (199 - 1) + 1,645^2 * 0,9 * 0,1}$$

$$n = 22$$

De acuerdo con los resultados obtenidos según algunas consideraciones por parte de la empresa proveedora de internet, el tamaño de la muestra estimado para obtener óptimos

resultados es de 22 familias, por lo tanto, ese es el número de encuestas que se deben realizar para obtener datos requeridos para el desarrollo del diseño de la red híbrida.

3.2.3. Encuesta y análisis de resultados

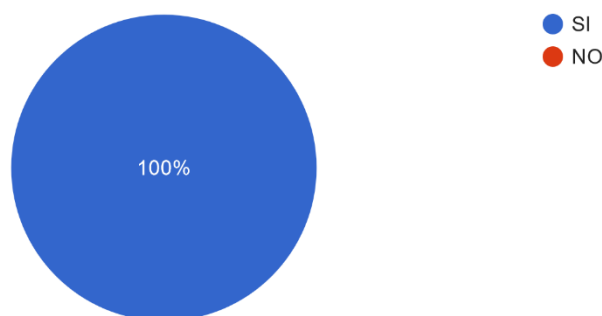
La presente encuesta (vista en el Anexo A) se la realizó para conocer el tipo de servicio de internet con el que cuentan las familias de Carpuela y las prestaciones ofrecidas por parte de sus respectivos proveedores con el objetivo de sondear a los posibles clientes de la empresa REDESTEL que deseen obtener un mejor servicio de internet mediante fibra óptica y ofrecer un ancho de banda adecuado según los usos más cotidianos que las personas le dan a su internet.

La encuesta se la realizó a 22 familias a lo largo de toda la comunidad tal y como lo especifica el valor obtenido en el cálculo de la muestra de la población. Se obtuvieron los siguientes resultados que fueron analizados en la siguiente tabulación presentada en la **Tabla 20**.

3.2.3.1. Pregunta #1

1. ¿Dispone de servicio de internet en su hogar?

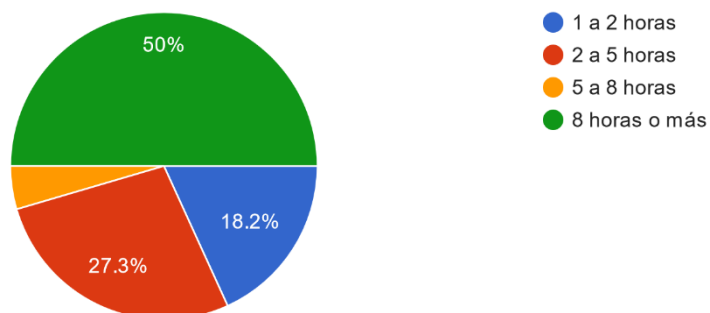
22 respuestas



3.2.3.2. Pregunta #2

2. ¿Qué tiempo utiliza el servicio de internet en su hogar aproximadamente?

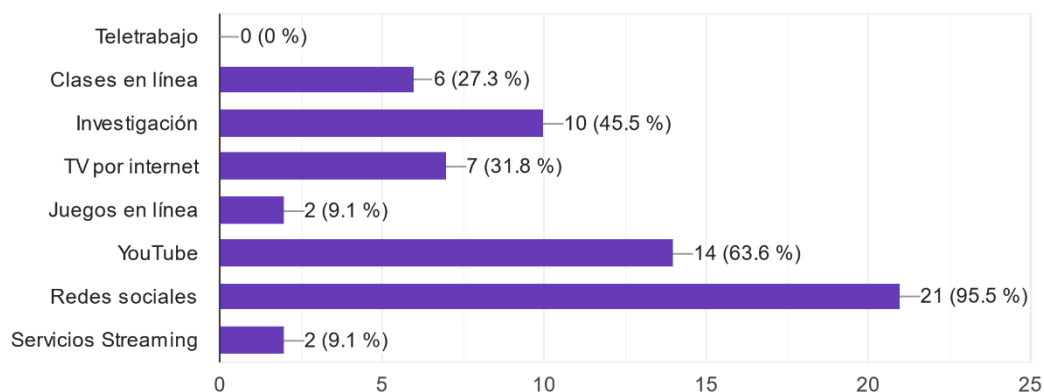
22 respuestas



3.2.3.3. Pregunta #3

3. ¿Cuál es la actividad más enfocada para utilizar el internet?

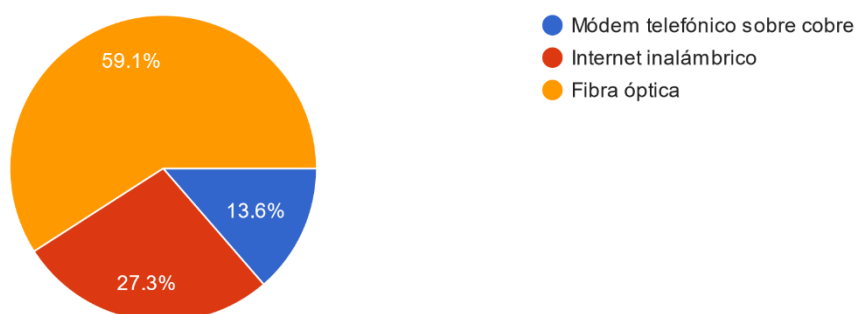
22 respuestas



3.2.3.4. Pregunta #4

4. ¿Qué tipo de conexión le ofrece su servidor de internet?

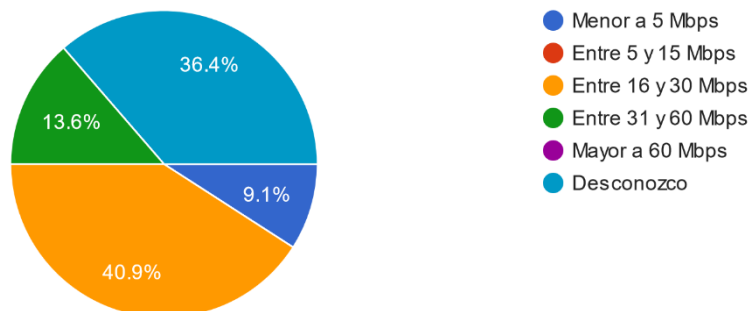
22 respuestas



3.2.3.5. Pregunta #5

5. ¿Qué velocidad de transmisión de internet (descarga) dispone actualmente?

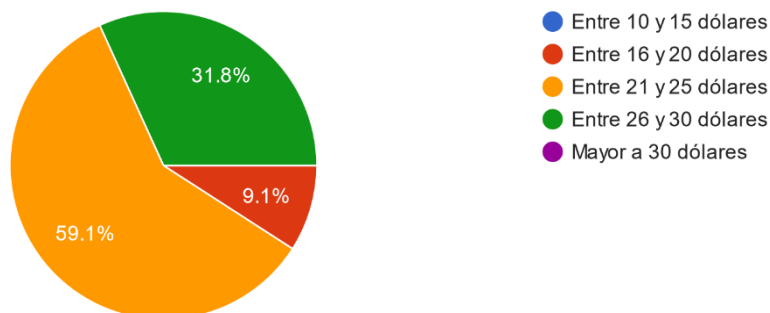
22 respuestas



3.2.3.6. Pregunta #6

6. ¿Cuál es el costo de su servicio de internet?

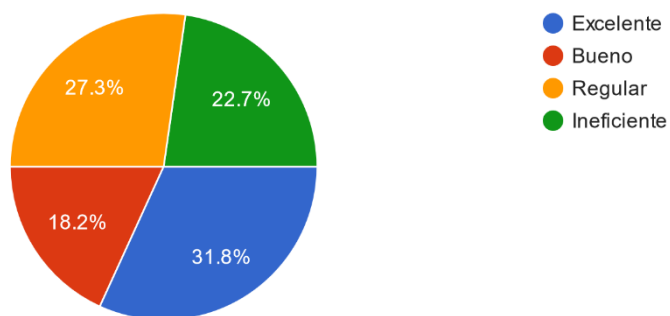
22 respuestas



3.2.3.7. Pregunta #7

7. ¿Cómo calificaría su actual servicio de internet?

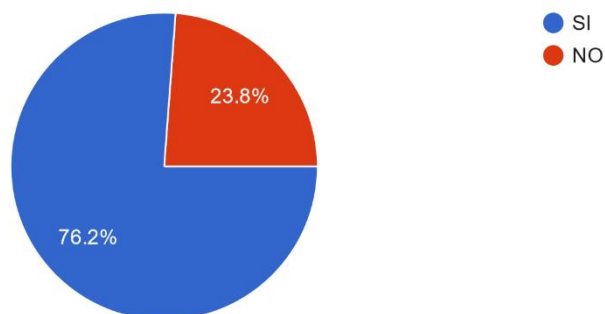
22 respuestas



3.2.3.8. Pregunta #8

8. ¿Le interesa obtener un servicio de internet más eficiente a un precio económico al que usted paga actualmente?

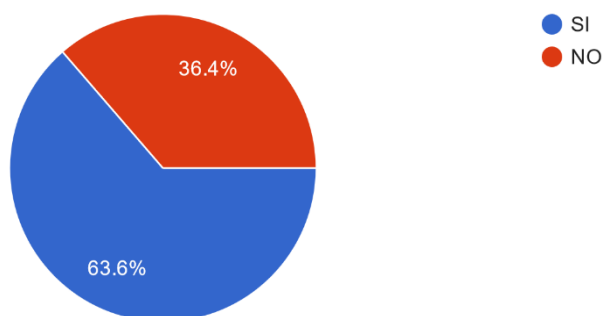
21 respuestas



3.2.3.9. Pregunta #9

9. ¿Sabe usted que el servicio de internet por medio de fibra óptica presenta ventajas sobre los servicios con enlaces inalámbricos y servicios con...fónica por cobre (mayor velocidad y estabilidad)?

22 respuestas



3.2.3.10. Pregunta #10

8. ¿Usted consideraría como alternativa cambiar su actual servicio de internet al que ofrece la empresa REDESTEL con conexión por fibra óptica confiable, precios accesibles y mayor velocidad?

22 respuestas

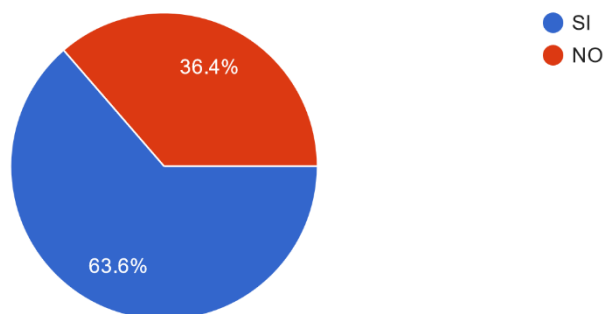


Tabla 20

Análisis de los requerimientos de usuario en base a la encuesta realizada

Preguntas	Análisis
¿Dispone de servicio de internet en su hogar?	Todos los encuestados supieron manifestar que cuentan con servicio de internet.
¿Qué tiempo utiliza el servicio de internet en su hogar aproximadamente?	El 50% de los encuestados afirmó que el uso del servicio de internet es constante, por lo que el servicio de internet debe tener la menor compartición posible para que los futuros usuarios no tengan limitaciones del ancho de banda especialmente en horas pico donde todos los usuarios accederán al internet. En esta pregunta de opción múltiple, el 95,5% de los encuestados seleccionaron las redes como uno de los servicios consumidos dentro de internet, lo que equivaldría a unos 3 Mbps consumidos. La segunda opción más seleccionada fue la reproducción de videos en YouTube, donde el consumo por minuto de un video con calidad promedio es de 4 Mbps. La tercera se enfoca en la investigación y navegación web en general, necesitando al menos 1,5 Mbps. Con estos datos se podrá definir el ancho de banda promedio que consume una familia promedio (3 - 4 usuarios) es de 25 Mbps.
¿Cuál es la actividad más enfocada para utilizar el internet?	

¿Qué tipo de conexión le ofrece su servidor de internet?	<p>Se obtuvo como resultados que un 59,1% de los usuarios disponen de internet por fibra, un 27,3% de usuarios cuenta con internet mediante enlace inalámbrico y un 13,6% todavía utiliza internet mediante conexión ADSL mediante un módem telefónico. Por lo tanto, existe clientela potencial que pueden llegar a mejorar su servicio con la empresa REDESTEL ofreciendo un servicio de calidad y veloz. Se obtuvo como resultado que los planes ofrecidos por los proveedores de internet se encuentran en el rango de 20 a 30 Mbps. También, se pudo notar que un 36,4 de las personas encuestadas desconocen la velocidad de su internet, el porqué de esta situación supieron manifestar que simplemente se conforman con tener un servicio de internet funcional y no se preocupan por la velocidad de transmisión de internet.</p>
¿Qué velocidad de transmisión de internet (descarga) dispone actualmente?	<p>La opción más destacada con un 59,1% es que el servicio de internet tiene un costo de entre 21 a 25 dólares para un servicio estándar, si la velocidad es mayor o el tipo de conexión es mediante red telefónica, el valor borda entre los 26 y 30 dólares.</p>
¿Cuál es el costo de su servicio de internet?	<p>En esta pregunta se han podido visualizar múltiples respuestas, siendo la opción de servicio excelente la que destaca con un 31,8% de aceptación, seguido de regular, ineficiente y bueno. Por lo tanto, el servicio a ofrecer para poder posicionarse como líderes en el servicio de internet se debe ser excelente a un precio accesible.</p>
¿Cómo calificaría su actual servicio de internet?	<p>Un 76,2% de encuestados supo afirmar que en el caso de tener un mejor rendimiento en su servicio a un precio igual o menor al actual disponible, lo contratarían.</p>
¿Le interesa obtener un servicio de internet más eficiente a un precio económico al que usted paga actualmente?	<p>Esta pregunta es casi obvia en cuanto a los resultados obtenidos, puesto que el servicio de fibra óptica es una tecnología que mejora la navegación de internet, mejorando considerable el servicio en comparación a los otros tipos de acceso a internet.</p>

con conexión telefónica por cobre

(mayor velocidad y estabilidad)?

¿Usted consideraría como alternativa cambiar su actual servicio de internet al que ofrece la empresa REDESTEL con conexión por fibra óptica confiable, precios accesibles y mayor velocidad?

Con los resultados obtenidos en la última pregunta, se puede concluir que, si bien es posible llegar a conseguir clientes para el servicio de internet de la empresa REDESTEL, es necesario ofrecer un servicio de calidad y confiable que pueda estar a la par o incluso mejor que sus competidores.

Autor: Creación propia

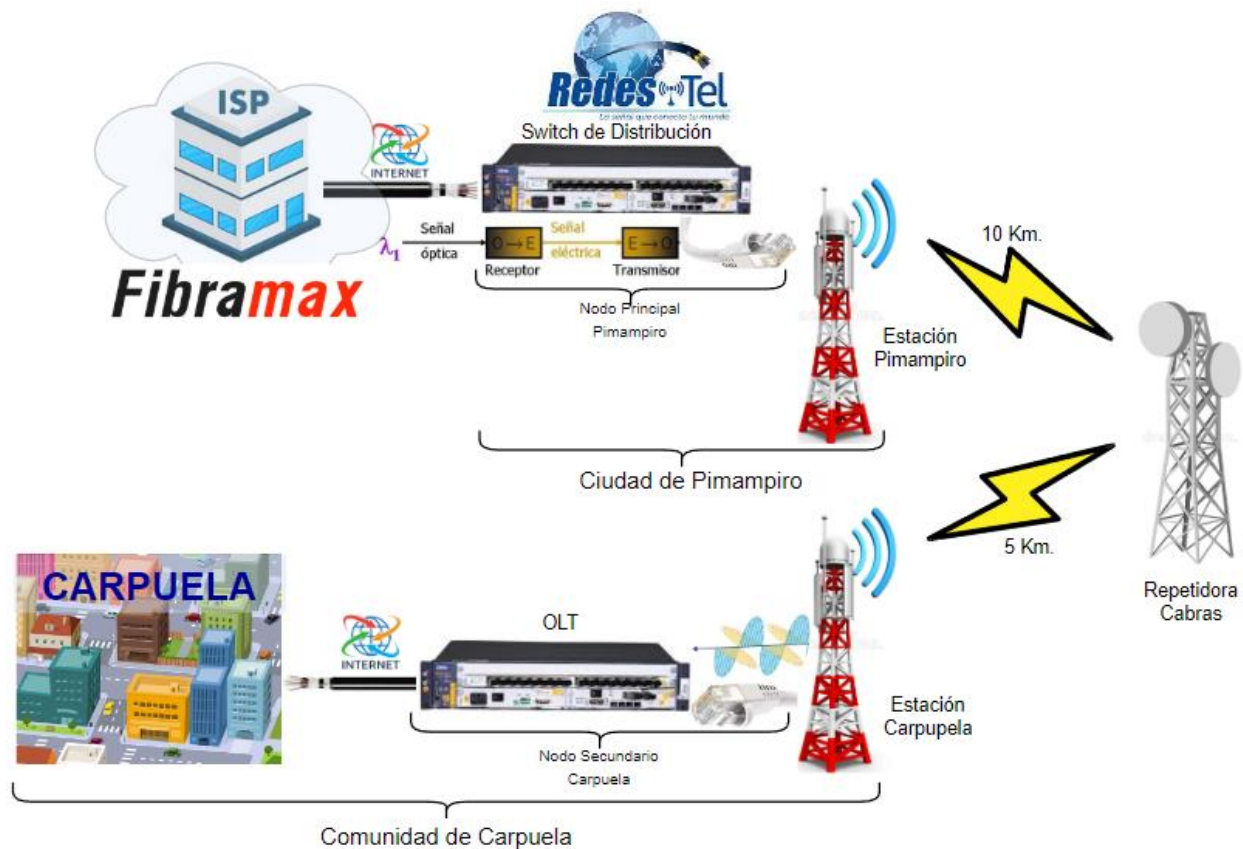
Con la tabulación realizada a las respuestas obtenidas de la encuesta realizada en algunos hogares de la comunidad de Carpuela se tuvieron resultados positivos para realizar el despliegue del servicio y disponer de clientes siempre y cuando el servicio ofrecido cuente con estándares de calidad y una velocidad de transmisión superior a los 30 Mbps a un costo que se encuentre en el rango de los 25 dólares.

3.3. DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

En esta sección se especifica el diseño de la primera etapa de la red híbrida que comienza con la adquisición de la señal óptica desde el ISP NEDETEL a través de un enlace de fibra óptica que llega a un conversor optoelectrónico, después, mediante una antena transmisora transforma la señal electrónica en ondas electromagnéticas que viajarán hacia la Estación Cabras, para luego repetir la señal y retransmitirla a la Estación Carpuela donde termina la red inalámbrica y comienza la red de fibra óptica. La arquitectura mostrada en la **Figura 64** representa el despliegue del servicio de internet de la etapa inalámbrica.

Figura 64

Arquitectura de la Etapa inalámbrica de la red híbrida



Autor: Creación propia

3.3.1. Localización de las Estaciones

De acuerdo con la investigación realizada y mediante la información adquirida de la empresa REDESTEL, acerca de los puntos estratégicos escogidos para la implementación de las torres para el radioenlace se pudo notar que no existe una línea de vista directa entre las estaciones Pimampiro y Carpuela tal y como se ve en la **Figura 65**, por tal motivo se justifica la implementación de una torre repetidora ubicada en el cerro Cabras, obteniendo así una excelente línea de vista entre las estaciones.

Figura 65

Perfil de elevación entre Pimampiro y Carpuela



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

La **Tabla 21** muestra las coordenadas representada en grados, minutos, segundos de los lugares donde se instalarán estratégicamente las torres para colocar las antenas y la altura de éstas dependerá de la línea de vista más óptima para la transmisión.

Tabla 21

Coordenadas en grados, minutos, segundos de las estaciones

Lugar	Coordenadas en grados, minutos, segundos		
	Latitud	Longitud	Elevación
Estación Pimampiro	0°23'20.69"N	77°56'26.58"O	2154,9 m.
Repetidora Cabras	0°28'15.0"N	77°57'54.0"O	2787,8 m.
Estación Carpuela	0°26'21.38"N	77°59'32.87"O	1631,2 m.

Autor: Creación propia

La **Tabla 22** muestra las coordenadas representada en grados decimales de los lugares donde se instalarán estratégicamente las torres para colocar las antenas y la altura de éstas dependerá de la línea de vista más óptima para la transmisión.

Tabla 22

Coordenadas en grados decimales de las estaciones

Lugar	Coordenadas en grados decimales
-------	---------------------------------

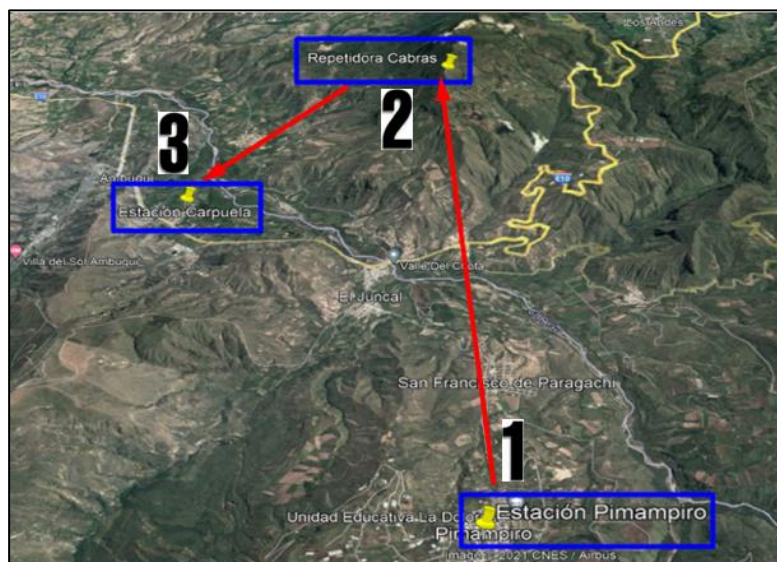
	Latitud	Longitud	Elevación
Estación Pimampiro	0.3890806	-77.94071666666667	2154,9 m.
Repetidora Cabras	0.4708333	-77.965	2787,8 m.
Estación Carpuela	0.4392722	-77.99246388888889	1631,2 m.

Autor: Creación propia

A través de Google Earth y las coordenadas de las tres estaciones se obtuvo la localización y la distancia en kilómetros para los enlaces trazando la ruta deseada de la señal mediante una vista aérea del mapa. La **Figura 66** representa la ruta que debe seguir la señal transmitida desde el nodo principal del proveedor de servicio de internet hasta el nodo final localizado en Carpuela.

Figura 66

Localización de las estaciones



Autor: (Google Earth, 2022) Modificado: Autor

3.3.2. Distancia entre estaciones

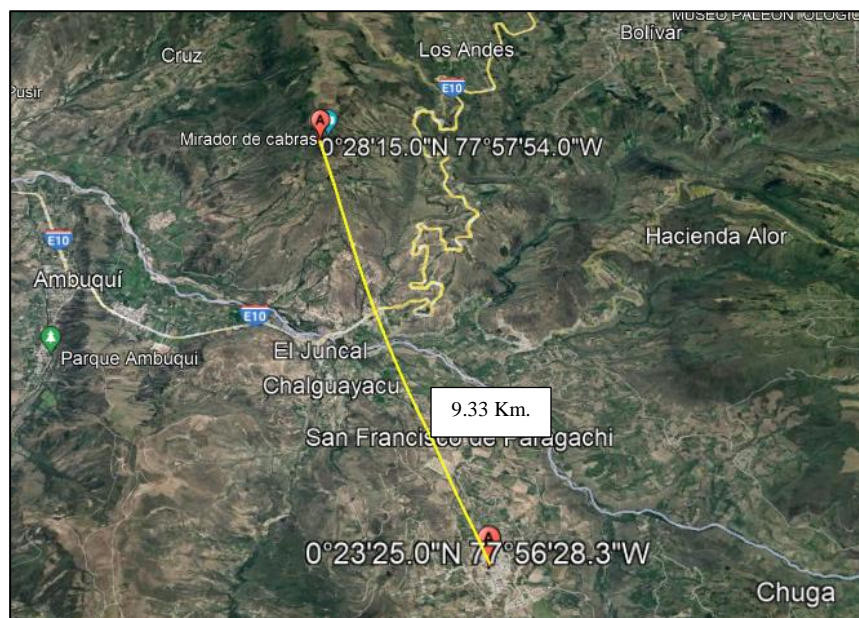
La distancia considerada aproximadamente entre toda la red inalámbrica es de 15 Kilómetros. Cabe mencionar que las estaciones inicial y final contarán con una sola antena y la estación Repetidora tendrá dos antenas. El radioenlace está dividido en dos puntos:

3.3.2.1. Distancia del enlace Pimampiro – Cabras

La **Figura 67** indica a través de Google Earth la distancia que debe recorrer la transmisión entre la Estación Pimampiro y la Repetidora Cabras, la cual es de 9.33 Km y cada punto cuenta con una elevación de 2154,9 y 2787,8 metros respectivamente.

Figura 67

Distancia aproximada entre Estación Pimampiro y Repetidora Cabras



Autor: (Google Earth, 2022) Modificado: Autor

3.3.2.2. Distancia del enlace Cabras – Carpuela

En la **Figura 68** se puede observar la distancia entre las dos últimas estaciones y mediante la herramienta “Regla” de Google Earth se ha determinado que la ruta que debe seguir la señal en la sección 2 es de 4,55 kilómetros. También es posible apreciar una elevación de 2787,8 metros en el sector donde se encuentra la Repetidora Cabras y una elevación de 1631,2 metros en el sector donde se encuentra la Estación de Carpuela.

Figura 68

Distancia aproximada entre Repetidora Cabras y Estación Carpuela



Autor: (Google Earth, 2022) Modificado: Autor

3.3.3. Requerimientos técnicos del radioenlace

Los requerimientos técnicos establecidos para contar con un radioenlace óptimo están definidos en la **Tabla 23** donde se enlistan valores tanto para la distancia entre enlaces, la frecuencia de transmisión, potencia, ganancia, sensibilidad de las antenas y otros para el enlace Pimampiro – Cabras y el enlace Cabras – Carpuela.

Tabla 23*Requerimientos de las antenas del*

Requerimientos	Enlace Pimampiro - Cabras	Enlace Cabras - Carpuela
Alcance máximo	Igual o superior a 10 Km	Igual o superior a 5 Km
Ganancia	Igual o superior a los 25 dBi	Similar a los 27 dBi
Potencia de transmisión	Igual o superior a 25 dBm	Superior a 25 dBm
Ancha de banda	Superior a 300 Mbps	Superior a 300 Mbps
Sensibilidad	Superior a los 80 dBm	Superior a los 80 dBm
Tipo de comunicación	Punto a Punto	Punto a Punto
Tipo de antena	Direccional	Direccional
Frecuencia	5,8 GHz	5,8 GHz
Estándar	802.11 ac	802.11 ac

Autor: (REDESTEL, 2023) Modificado: Autor

En la **Tabla 24** se mencionan los dos radiotransmisores que igualan o incluso superan los requerimientos vistos en la **Tabla 23** para el radioenlace. La marca seleccionada es Mimosa en la serie C5c para el enlace Pimampiro – Cabras y la serie C5x para el enlace Cabras - Carpuela.

Tabla 24*Antenas transmisoras y receptoras para el enlace inalámbrico*

Características	Mimosa C5c	Mimosa C5x
Alcance	30 Km.	10 Km.
Ganancia	30 dBi	25 dBi
Potencia de Tx	27 dBm	27 dBm
Velocidad de Tx máxima	500 Mbps	700 Mbps
Tipo de comunicación	Direccional	Direccional

Frecuencia de funcionamiento	4.9-6.2 GHz	4.9-6.4 GHz
Sensibilidad	-87 dBm @ 80 MHz -90 dBm @ 40 MHz	-87 dBm @ 80 MHz -90 dBm @ 40 MHz
Estándar	802.11a/n/ac	802.11a/n/ac

Autor: (Mimosa, 2023), (Mimosa, 2016) Modificado: Autor

3.3.4. Elementos de la Red Inalámbrica

Para el despliegue de la primera etapa de la red híbrida se deben tomar en cuenta los elementos involucrados a lo largo del recorrido de la señal, de acuerdo con la arquitectura vista anteriormente en la **Figura 64**, los elementos utilizados son los siguientes:

3.3.4.1. Torres de Telecomunicaciones

Actualmente, la empresa REDESTEL cuenta con una torre de Telecomunicaciones ubicada en el nodo principal de Pimampiro usada para ofrecer servicio de internet inalámbrico, la **Figura 69** muestra la torre junto con distintas antenas direccionadas a sus antenas receptoras tanto para sus usuarios finales como sus repetidoras.

Figura 69

Torre del nodo principal de Pimampiro



Autor: Creación propia

En la **Tabla 25** se nombran algunas especificaciones técnicas para las Torretas de Telecomunicaciones que cumplan con las normas técnicas establecidas en 2018 por la Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones (ARCOTEL) y el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL).

Tabla 25

Especificaciones técnicas de las torres de Telecomunicaciones

Características	Estación Pimampiro	Repetidora Cabras	Estación Carpuela
Estructura física	Torreta	Torre	Torreta
Alto de la estructura	9 metros	24 metros	9 metros
Alto de la antena	6 metros	15 metros	6 metros
Parámetros de seguridad	Pararrayos	Pararrayos	Pararrayos
Arrendamiento mensual	Alquiler del propietario del terreno e impuesto por uso de suelo	Alquiler del propietario del terreno e impuesto por uso de suelo	Alquiler del propietario del terreno e impuesto por uso de suelo

Autor: (MINTEL, 2018) Modificado: Autor

3.3.4.2. Radiotransmisores para el enlace Pimampiro - Cabras

De acuerdo con los puntos citados en los requerimientos técnicos para la selección de la antena idónea y las características indicadas en la tabla anterior se escogió la antena Mimosa C5c para la transmisión y la recepción, es decir, se necesitan 2 unidades para el primer enlace.

Mimosa C5c vista en la **Figura 70** es un radio de antena que cuenta con excelentes características esenciales para un enlace confiable en ambientes profesionales por lo que el precio de 431.96 dólares por 2 unidades de radios resulta accesible en cuanto a los beneficios que ofrece.

Figura 70

Radio Mimosa C5c



Autor: (Insight Infosys, 2023)

El radio Mimosa C5c permite enlaces de hasta 100 Kilómetros de distancia con velocidades de ancho de banda de hasta 500 Mbps reales dependiendo de los platos que se utilicen para armar las antenas y los factores de línea de vista. Los rangos de frecuencia con los que trabajan estas antenas van desde los 4,9 GHz hasta los 6,2 GHz. La gestión de los anchos de banda puede ser simétrica (50% DL / 50% UL) o asimétrica (75% DL / 25% UL, 25% DL / 75% UL, 100% en un solo sentido). Otros detalles más técnicos para llenar la tabla anterior han sido extraídos de la hoja de datos vista en la página oficial (Mimosa, 2023).

3.3.4.3. Radiotransmisores para el enlace Cabras - Carpuela

De acuerdo con los puntos citados en los requerimientos técnicos para la selección de la antena idónea para el enlace Cabras – Carpuela según las especificaciones requeridas se han seleccionado las antenas Mimosa C5x en vista de que el alcance máximo es más que suficiente.

El equipo Mimosa C5x presentado en la **Figura 71** es un radio de antena muy versátil y económico en comparación a las prestaciones que ofrece cuyo valor borda los 180 dólares.

Figura 71

Radio Mimosa C5x



Autor: (Sincables, 2023)

El radio Mimosa C5x permite realizar enlaces Punto a Punto con alcances mayores a los 10 Kilómetros de distancia proporcionando además una operación de frecuencia extendida de 4,9 a 6,2 GHz contando con una tecnología que mejora la inmunidad al ruido. Este radio también se caracteriza por su flexibilidad tanto en modos Punto a Punto como Punto a Multipunto con velocidades de hasta 700 Mbps. Para seleccionar estas antenas se tomó en cuenta el estándar de operación, el cual debe ser el mismo a las antenas seleccionadas en el primer enlace, siendo IEEE 802.11 a/n/ac el mismo para todas las antenas utilizadas en toda la red inalámbrica. En la hoja de datos (Mimosa, 2016) se puede conocer más características del radio C5x.

3.3.4.4. Antenas para el enlace Pimampiro - Cabras

Para poder conectar el radio Mimosa C5c con su respectiva antena se utilizará un puerto de guía de la marca TwistPort TP-ADAP-C5c visto en la **Figura 72** que, como su nombre lo

indica, es compatible con el radio en cuestión y ofrece como ventaja reducir casi a cero la pérdida ya que reemplaza los cables y conectores que se usaban en antenas de anteriores generaciones. Dicho elemento se encuentra en el mercado por 40,00 USD. aproximadamente.

Figura 72

Puerto de guía de onda para radio Mimosa C5c



Autor: (RF Elements, 2019)

Es necesario contar con una antena parabólica de la misma marca RF Elements, para ello se desea obtener la UltraDish TP 400 compatible con el TwistPort y por tal motivo también es compatible con el radio Mimosa. El precio de la antena vista en la **Figura 73** es de 156 USD.

Figura 73

Antena parabólica UltraDish TP 400



Autor: (RF Elements, 2016)

En la **Figura 74** se muestra la conexión completa entre el radio C5c junto con el plato RF Elements ULD-TP-400 y el adaptador de guía de onda TP-ADAP-C5c, dicha conexión es sencilla de realizar al ser componentes compatibles entre sí.

Figura 74

Conexión de antena Mimosa C5c



Autor: (Syscom, 2018)

3.3.4.5. Antenas para el enlace Cabras - Carpuela

El plato escogido para formar la antena transmisora es el Mimosa N5-x25 la cual presenta características similares a la C5x, así como también contar con una ganancia nativa de 20 dBi. Su precio en el mercado borda los USD. 556.45 dólares el par junto con el radio C5x (enlace completo). En la **Figura 75** se muestra la conexión del radio C5x con el plato N5-x25 indicando que la antena queda armada de la siguiente manera.

Figura 75

Conexión de antena Mimosa C5x



Autor: (Mimosa, 2016)

3.3.4.6. Switch de Core

El Switch de Core o de núcleo es un elemento que funciona como un conmutador de alta capacidad que actúa como puerta de acceso a una red WAN o al Internet, siendo un punto de acceso final para la red. La capacidad de estos equipos debe ser significativa para manejar la carga que se le envíe.

El Switch de Core seleccionado para recibir la señal del proveedor de internet y transferirlo a otros dispositivos es de la marca MikroTik CCR1036-8G-2S que se aprecia en la **Figura 76**. Entre sus características más destacadas cuenta con 36 núcleos que trabajan a 1,2 GHz, una memoria RAM de 8 GB, compatibilidad con SFP a 100 Mbps y 10 Gbps y 8 puertos Gigabit Ethernet de alta velocidad (MikroTik, 2019). Este equipo se encargará de recibir la señal óptica que llega desde el ISP FIBRAMAX.

Figura 76

Switch MikroTik CCR1036-8G-2S



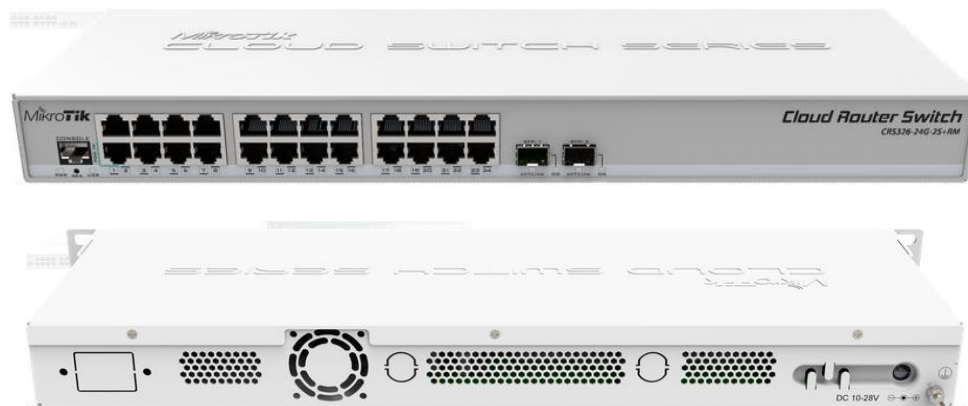
Autor: (MikroTik, 2019)

3.3.4.7. Switch de Distribución

El Switch de Distribución estará ubicado en el nodo de Pimampiro y se encargará de recibir el tráfico que llega del Switch de Core para poder ser transmitido por la antena Mimosa C5c. Se ha seleccionado el Switch MikroTik CRS326-24G-2S, el cual cuenta con características como 24 puertos Gigabit Ethernet y 2 puertos SFP+, memoria RAM de 512 MB, con características de capa 3 (MikroTik, 2017). Este equipo será utilizado para transportar la señal que llegó desde el Switch de Core hacia la antena transmisora. En la **Figura 77** se aprecia mejor el equipo MikroTik.

Figura 77

Switch MikroTik CRS326-24G-2S



Autor: (MikroTik, 2017)

3.3.4.8. *Switch de Acceso*

El Switch de Acceso se usará para pasar la señal inalámbrica recibida por la antena receptora hacia la antena transmisora de la repetidora se utilizará el Switch TP-Link Gigabit 24 puertos, el cual, como se ve en la **Figura 78** cuenta con 24 puertos PoE Gigabit y 4 ranuras SFP de 4 x Gigabit para proporcionar conexiones de alta velocidad.

Figura 78

Switch TP-Link TL-SG2428P



Autor: (TP-Link, 2015)

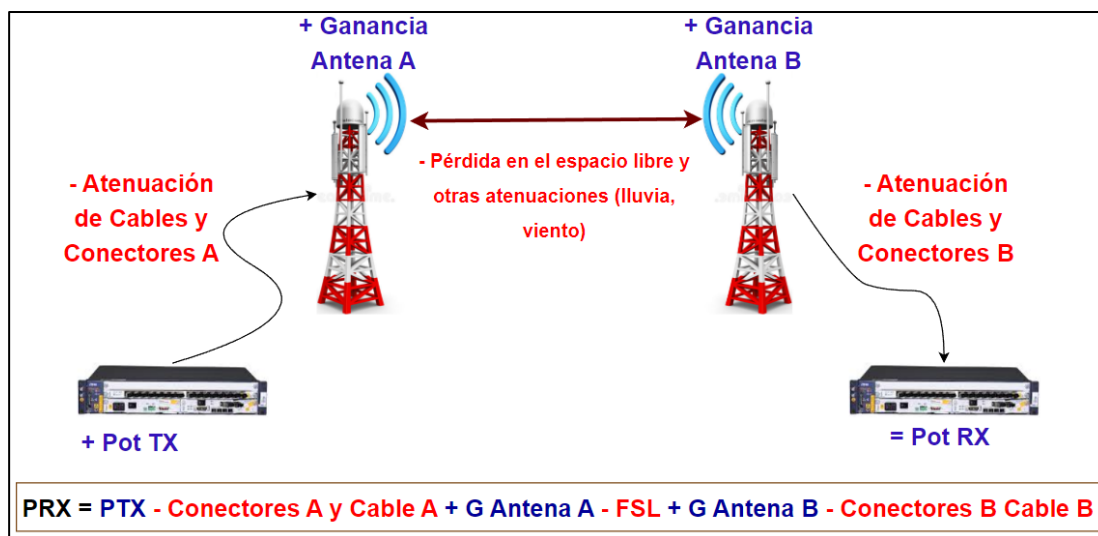
3.3.5. **Presupuesto de potencia del enlace inalámbrico**

El presupuesto de potencia es un cálculo en el que se toman en cuenta todas las ganancias y pérdidas dentro de los enlaces generados entre estaciones.

Por medio de la **Figura 79** se puede visualizar un radioenlace Punto a Punto con todos los parámetros a tomar en cuenta para que la señal viaje desde el origen hacia el destino.

Figura 79

Esquema de un enlace Punto a Punto



Autor: Creación propia

Potencia del Receptor

= Potencia del Transmisor

- Pérdida de conectores y cable del Transmisor

+ Ganancia del Transmisor - Pérdida en el espacio libre

+ Ganancia del Receptor - Pérdida de conectores y cable del Receptor

3.3.5.1. Cálculo del Enlace Pimampiro – Cabras

Pérdida en el espacio libre

Los valores de la pérdida en el espacio ya se encuentran preestablecidos en la **Tabla 6** tan sólo con conocer la distancia entre antenas y la frecuencia, sin embargo, es posible obtener matemáticamente la FSL con la siguiente fórmula vista en la **Ecuación 4**:

$$FSL_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

Donde:

d: Distancia entre antenas: 9,33 [m]

f : Frecuencia a la que viaja la señal: 5,8 [GHz]

c : Velocidad de la luz = $3 * 10^8$ m/s

Reemplazando valores ya previamente establecidos en la fórmula de la pérdida en el espacio libre se obtuvo el siguiente resultado en decibeles por ser pérdida de potencia:

$$FSL_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi(9,33*10^3)(5,8*10^9)}{3*10^8} \right)^2$$

El resultado obtenido en la pérdida de potencia en el espacio libre es de:

$$FSL_{dB} = 127,10 \text{ dB}$$

Potencia recibida en el receptor

La **Ecuación 11** presente en el capítulo 2 describe el desarrollo del presupuesto de enlace, por lo que los datos con los que se cuentan son los siguientes:

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

Donde:

PTx_{dBm} : Potencia del Transmisor cuyo valor es 27 dBm

LTx_{dB} : Pérdida en los cables y conectores en el Transmisor de 0 dB

GTx_{dBi} : Ganancia de la antena en la Transmisión de 30 dBi

FSL_{dB} : Pérdidas en el espacio libre de 127,10 dB

GRx_{dBi} : Ganancia de la antena en la Recepción de 30 dBi

LRx_{dB} : Pérdida en los cables y conectores en el Receptor de 0 dB

Con los datos obtenidos se calculó la potencia recibida por el receptor:

$$PRx_{dBm} = 27_{dBm} - 0_{dB} + 30_{dBi} - 127,10_{dB} + 30_{dBi} - 0_{dB}$$

Obteniendo como resultado:

$$PRx_{dBm} = -40,1 \text{ dBm}$$

PIRE

Se obtiene mediante la suma de los siguientes valores ya encontrados anteriormente como son la potencia del transmisor PTx_{dBm} mas la pérdida del transmisor LTx_{dB} y la ganancia del transmisor GTx_{dBi} cuyo resultado se medirá en decibeles (dBm). De acuerdo con la **Ecuación 9**, la fórmula para el cálculo del PIRE es:

$$PIRE_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi}$$

Reemplazando valores, el resultado de la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente es:

$$PIRE_{dBm} = 27_{dBm} - 0_{dB} + 30_{dBi}$$

$$PIRE_{dBm} = 57 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

Una vez encontrado el valor de la potencia recibida y conociendo el valor de la sensibilidad del receptor (SRx_{dBm}) cuyo valor es de -93 dB encontrado en la hoja de datos de la antena Mimosa C5c (visto en el Anexo B) calculamos el margen de potencia de la recepción del enlace mediante la siguiente **Ecuación 10** encontrada en el capítulo anterior:

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

$$M_{dB} = -40,1_{dBm} - (-90_{dBm})$$

$$M_{dB} = 49,9 \text{ dB}$$

Zona de Fresnel

Para realizar el cálculo de las zonas de Fresnel se considerará la altura de las antenas en la primera zona de Fresnel y sin obstáculos mediante la **Ecuación 5**:

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

Donde:

$$d: 9,33 \text{ [Km]}$$

$$f: 5,8 \text{ [GHz]}$$

r : Valor a encontrar

Por lo tanto:

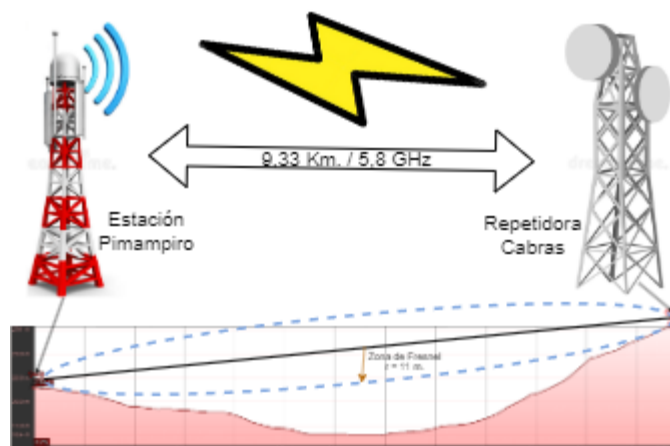
$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{9,33}{4 * 5,8}}$$

$$r = 11 \text{ [m]}$$

El valor resultante de “r” se refiere a la zona despejada en metros que debe existir entre las antenas hasta la superficie para evitar interferencias en la transmisión. En la **Figura 80** se puede constatar este primer enlace cuenta con una línea de vista sin obstáculos incluso sin contar la altura adicional que ganan las antenas al colocarlas en las torres de Telecomunicaciones. En caso de no contar con una línea de vista despejada basta con aumentar las alturas de las torres.

Figura 80

Línea de vista del Enlace Pimampiro - Cabras



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

Resultados del enlace Pimampiro - Cabras

A continuación, se presentan en la **Tabla 26** los resultados obtenidos en el cálculo del radioenlace Pimampiro – Cabras.

Tabla 26

Resultados del Enlace Pimampiro - Cabras

Datos	Elementos	Valores	
	PTx: Potencia de salida del Transmisor	+27	dBm
	LTx: Pérdida de cables y conectores en el Transmisor	0	dB
	GTx: Ganancia de la antena transmisora	+30	dB
	FSL: Pérdida en el espacio libre	-127,10	dB
Distancia: 9,33 Km	GRx: Ganancia de la antena receptora	+30	dB
Frecuencia: 5,8 GHz	LRx: Pérdida de cables y conectores en el Receptor	0	dB
	SRx: Sensibilidad del Receptor	-90	dBm
	M: Margen de desvanecimiento	+49,9	dB
	PIRE	+57	dBm
	PRx: Potencia recibida en el receptor	-40,1	dBm
	r: Primera zona de Fresnel	11	m

Autor: Creación propia

De acuerdo con los resultados se observa que la potencia recibida en el receptor es lo suficientemente aceptable, ya que supera ampliamente la sensibilidad en la recepción, siendo 49,9 dBm la diferencia de potencia, también se puede destacar que la transmisión cuenta con un amplio margen de desvanecimiento, por lo que si la señal se atenúa, sólo si el desvanecimiento va por debajo de los 49,29 dB se habrá cortado la señal.

3.3.5.1. Cálculo del Enlace Cabras – Carpuela

Para la siguiente sección del radioenlace se tomarán en cuenta la información presentada en la primera sección, por lo tanto, sólo se realizarán las operaciones con los nuevos valores establecidos entre el cerro Cabras y la Estación de Carpuela.

Pérdida en el espacio libre

Definida por la **Ecuación 4**:

$$FSL_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2$$

Para la siguiente sección el radioenlace tendrá una distancia de 4,55 Kilómetros con una frecuencia de 5,8 GHz.

$$FSL_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi(4,55*10^3)(5,8*10^9)}{3*10^8} \right)^2$$

El resultado obtenido en la pérdida de potencia en el espacio libre en el enlace Cabras - Carpuela es de:

$$FSL_{dB} = 120,9 \text{ dB}$$

Potencia recibida en el receptor

Por medio de la **Ecuación 11** se obtiene la potencia que llega al receptor:

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

Donde:

PTx_{dBm} : Potencia del Transmisor cuyo valor es 27 dBm

LTx_{dB} : Pérdida en los cables y conectores en el Transmisor de 0 dB

GTx_{dBi} : Ganancia de la antena en la Transmisión de 25 dBi

FSL_{dB} : Pérdidas en el espacio libre de 120,9 dB

GRx_{dBi} : Ganancia de la antena en la Recepción de 25 dBi

LRx_{dB} : Pérdida en los cables y conectores en el Receptor de 0 dB

Con los datos obtenidos se calculó la potencia recibida por el receptor:

$$PRx_{dBm} = 27_{dBm} - 0_{dB} + 25_{dBi} - 120,9_{dB} + 25_{dBi} - 0_{dB}$$

Obteniendo como resultado:

$$PRx_{dBm} = -43,9 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

El valor de la sensibilidad del receptor (SRx_{dBm}) es de -90 dB encontrado en la hoja de datos de la antena Mimosa C5x (visto en el Anexo C). El margen de potencia de la recepción del enlace mediante la siguiente **Ecuación 10** es:

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

$$M_{dB} = -43,9_{dBm} - (-90_{dBm})$$

$$M_{dB} = 46,1 \text{ dB}$$

PIRE

De acuerdo con la **Ecuación 14**, la fórmula para el cálculo del PIRE es:

Ecuación 14

$$PIRE_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi}$$

Reemplazando valores, el resultado de la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente es:

$$PIRE_{dBm} = 27_{dBm} - 0_{dB} + 25_{dBi}$$

$$PIRE_{dBm} = 52 \text{ dBm}$$

Zona de Fresnel

El cálculo de las zonas de Fresnel en la primera zona y sin obstáculos mediante la

Ecuación 5 resulta:

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

Donde:

d : 4,55 [Km]

f : 5,8 [GHz]

r : Valor a encontrar

Por lo tanto:

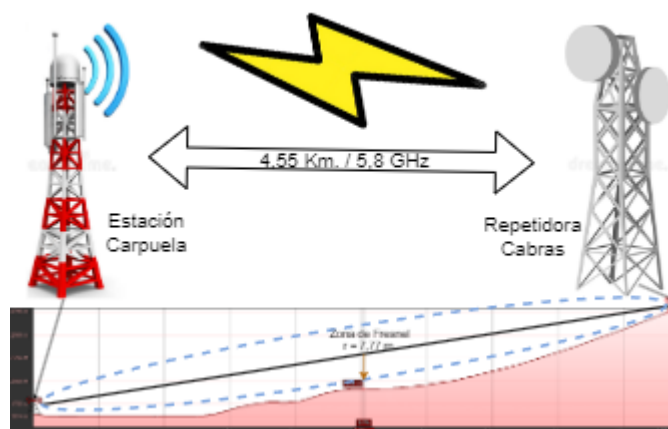
$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{4,55}{4 * 5,8}}$$

$$r = 7,7 [m]$$

En la **Figura 81** se puede constatar este primer enlace cuenta con una línea de vista sin obstáculos incluso sin contar la altura adicional que ganan las antenas al colocarlas en las torres de Telecomunicaciones.

Figura 81

Línea de vista del Enlace Cabras - Carpuela



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

Resultados del enlace Cabras – Carpuela

A continuación, se presentan en la **Tabla 27** los resultados obtenidos en el cálculo del radioenlace Cabras – Carpuela.

Tabla 27

Resultados del Enlace Cabras – Carpuela

Datos	Elementos	Valores	
	PTx: Potencia de salida del Transmisor	+27	dBm
	LTx: Pérdida de cables y conectores en el Transmisor	0	dB
	GTx: Ganancia de la antena transmisora	+25	dB
	FSL: Pérdida en el espacio libre	-120,9	dB
Distancia: 10 Km	GRx: Ganancia de la antena receptora	+25	dB
Frecuencia: 5 GHz	LRx: Pérdida de cables y conectores en el Receptor	0	dB
	SRx: Sensibilidad del Receptor	-90	dBm
	M: Margen de desvanecimiento	+46,1	dB
	PIRE	+52	dB
	PRx: Potencia recibida en el receptor	-43,9	dBm
	r: Primera zona de Fresnel	7,77	m

Autor: Creación propia

Con este análisis queda confirmado que la transmisión mediante radioenlace es posible de realizar y satisfactoria al contar con una potencia de señal lo suficientemente alta para una mayor efectividad, el ancho de banda es el adecuado al ser lo suficientemente amplio y las interferencias entre antenas son mínimas.

Todos estos resultados teóricos del radioenlace serán comparados y analizados nuevamente con los resultados generados en los Software de simulación desarrollados en el siguiente capítulo.

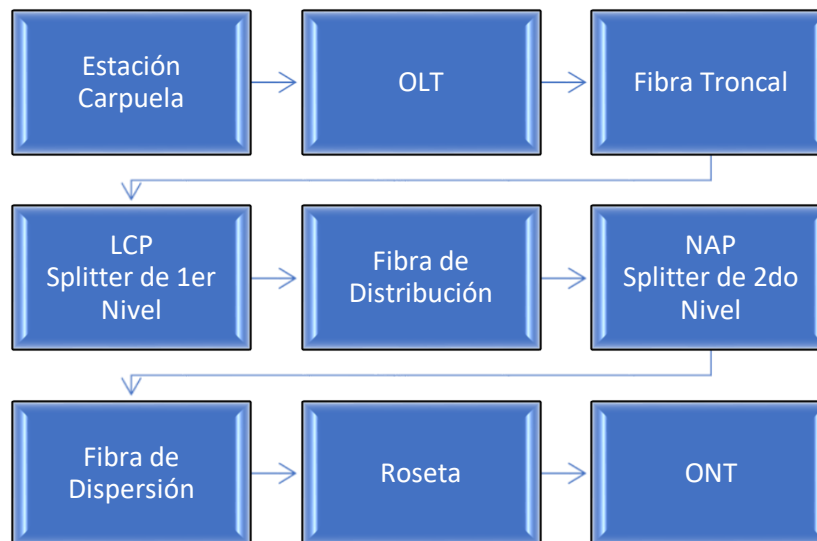
3.4. DISEÑO DE LA RED FTTH GPON

En el siguiente segmento de la red se toma en cuenta el diseño de la red GPON mediante las 4 recomendaciones encontradas en la norma ITU- T 984.x y la arquitectura FTTH tomando en cuenta todos los elementos involucrados desde la llegada de la señal a la antena receptora ubicada en el nodo de Carpuela hasta llegar a los clientes de la última milla que, son los beneficios del servicio de internet.

A partir de la recepción de la señal enviada desde el nodo de Carpuela, se procede a conectar la antena receptora mediante cable de red a un Switch que se encuentra dentro de un rack que además contiene un elemento esencial para la red GPON conocido como OLT, el cual se encarga de la distribución de la red óptica (ODN) así como también de la transformación de la señal eléctrica en pulsos de luz para que logren viajar mediante los cables de fibra óptica conocidos en primera instancia como Feeder, para llegar a una caja de distribución, la cual contiene Splitters, empalmes y conectores para luego pasar mediante tendido de fibra hacia una caja NAP (Network Access Point), siendo éste el último tramo hasta llegar a los hogares de los clientes mediante una ONT (Optical Network Terminal). En la **Figura 82** se presenta un diagrama de bloques donde se consideran los pasos requeridos para el enlace GPON FTTH.

Figura 82

Diagrama de bloques de la Etapa de fibra óptica de la red híbrida

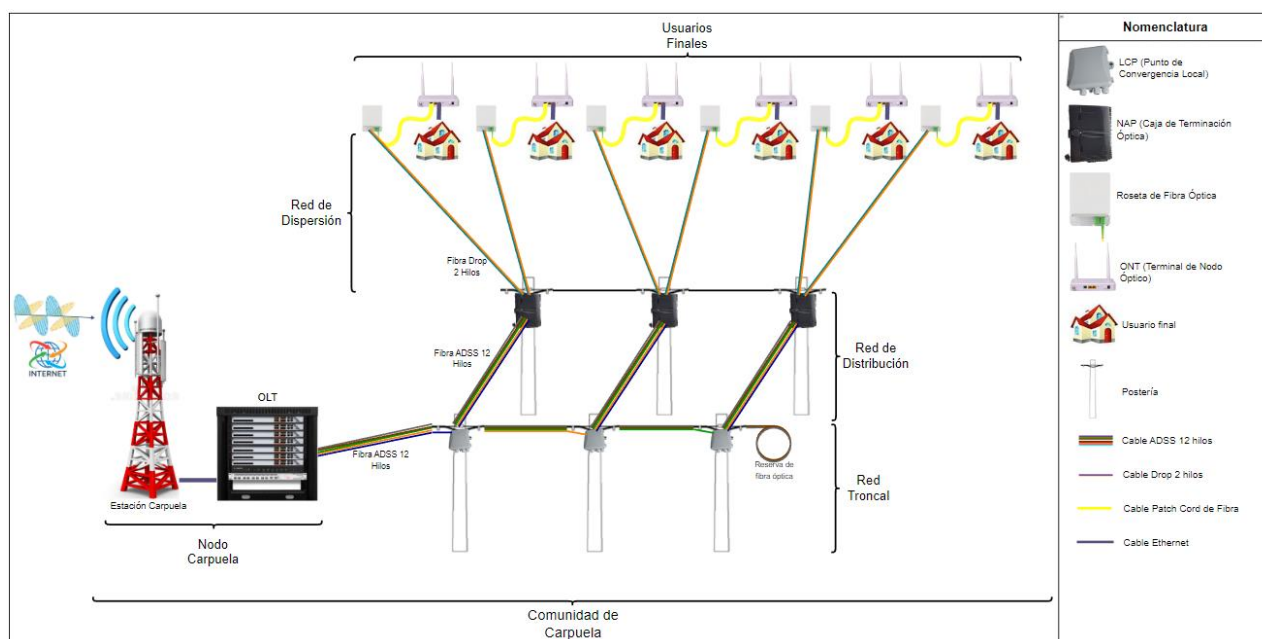


Autor: Creación propia

En la **Figura 83**, se presenta la arquitectura de la red GPON FTTH con la simbología creada por el autor necesaria para interpretar gráficamente el diagrama de bloques presentado en la figura anterior.

Figura 83

Arquitectura de la Etapa de fibra óptica de la red híbrida



Autor: Creación propia

3.4.1. Elementos activos para la red FTTH GPON

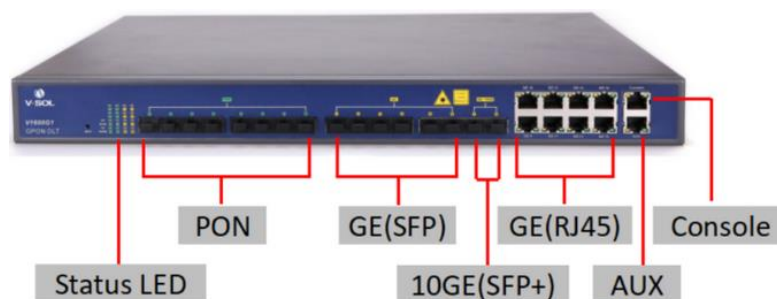
Los elementos activos se encargan de la generación, amplificación, transmisión y recepción de la señal, elementos como OLT y ONT son equipos que se ubican en los extremos de la red. A continuación, se presentan los equipos activos que se utilizarán en la red de fibra óptica.

3.4.1.1. OLT

Por recomendación de la empresa REDESTEL, de acuerdo con el tamaño de la red, los posibles usuarios que contraten el servicio y la escalabilidad a futuro en comunidades aledañas, se escogió la OLT de 8 puertos de la marca V-SOL serie GPON V1600G1. En la **Figura 84** se muestra un ejemplo de la OLT detallando los puertos con los que cuenta.

Figura 84

OLT V-SOL GPON V1600G1



Autor: (V-Sol, 2021)

A continuación, en la **Tabla 28** se nombran algunas características para tomar en cuenta según los requerimientos de la red establecida para un mejor desempeño del equipo.

Tabla 28

Características de la OLT V-SOL GPON V1600G1

Ítem técnico	Descripción
--------------	-------------

Puerto de enlace ascendente	Cantidad	16
	Cobre	8*10/100/1000M
	SFP	6 ranuras
	SFP+	2 ranuras
	SFP+ independiente	1 ranura 10 GE
Puerto GPON	Cantidad	8
	Interfaz física	Ranuras SFP
	Tipo de conector	Clase B+ / C+
	Proporción de división	1:128
Especificación de puerto PON	Distancia de transmisión	20 Km.
	Velocidad de puerto GPON	Upstream: 1.244 Gbps
		Downstream: 2.488 Gbps
	Longitud de onda	Transmisión: 1490 nm.
		Recepción: 1310 nm.
	Conector	SC / UPC
	Tipo de fibra	9 / 125 μ m. SMF
	Potencia de Transmisión Clase B+	+ 1 ~ + 2.5dBm
	Sensibilidad de Receptor Clase B+	-28 dBm
	Potencia óptica de saturación Clase B+	-8 dBm
Potencia de Transmisión Clase C+	+ 1 ~ + 5dBm	
Sensibilidad de Receptor Clase C+	-12 dBm	
Potencia óptica de saturación Clase C+	-32 dBm	

Autor: (V-Sol, 2021) Modificado: Autor

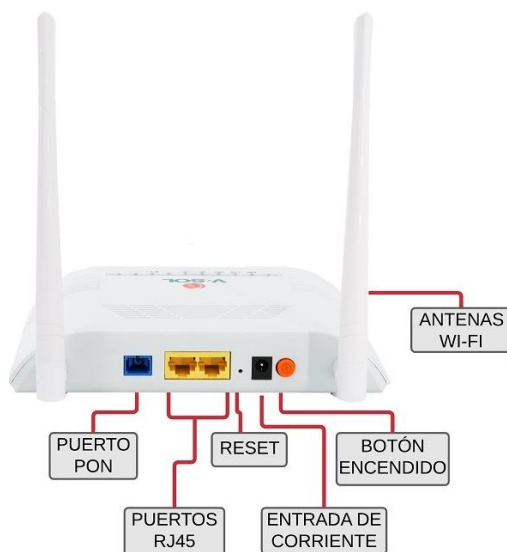
3.4.1.2. *ONT/ONU*

Las Terminales de Red óptica o Unidades de red óptica son el segundo elemento activo dentro de la red de fibra óptica que se encuentra en el hogar de los usuarios finales que, por lo general integran un módulo Wi-Fi y puertos Ethernet para la red WLAN/LAN.

Entre todo el catálogo de equipos ONU en el mercado, la empresa REDESTEL se decanta por la marca V-SOL, ONU V2802GW. En la **Figura 85** se puede observar el modelo y los puertos que ofrecen.

Figura 85

ONU V-SOL V2802GW



Autor: (V-SOL, 2020)

También, en la **Tabla 29** se describen la mayoría de las características con las que cuenta esta ONU, información necesaria para analizar la potencia de transmisión aceptada y compararla con la potencia que entrega la OLT.

Tabla 29

Características de la ONU V-SOL V2802GW

Ítem técnico	Descripción	
Interface PON	EPON PX20+ y GPON Clase B+	1 por PON
	Sensibilidad en la recepción	≤ -28 dBm
	Potencia de transmisión óptica	0 ~ +4 dBm
	Distancia de transmisión	20 Km.
Longitud de onda	Transmisión	1310 nm

	Recepción	1490 nm
Interfaz óptica	Conector SC / UPC	
Interfaz LAN	1 puerto Ethernet	1x10/100/1000 Mbps
	1 puerto auto adaptativo Ethernet	1x10/100 Mbps
	Compatibilidad	IEEE 802.11b/g/n
	Frecuencia de operación	2,400-2,4835 GHz
	Tipo de antenas	MIMO
Interfaz Wi-Fi	Ganancia	5dBi
	Canales de subportadoras	13
	Modulación	DSSS, CCK, OFDM
	Codificación	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM

Autor: (V-SOL, 2020) Modificado: Autor



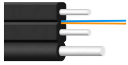
3.4.2. Selección de elementos pasivos para la red FTTH GPON






Dentro de la red FTTH se encuentra un parámetro importante como lo es la Red de Distribución Óptica (ODN), la cual se compone de diferentes elementos pasivos, todos los elementos que se utilizarán están descritos en la **Tabla 30**. Los elementos nombrados son:


- Cables de fibra óptica
- Gabinete para equipos de red
- ODF
- Cajas para Punto de convergencia local
- Herrajes para postería
- Cajas NAP
- Divisores ópticos
- Rosetas

Tabla 30

Elementos pasivos de la red FTTH

Elemento		Descripción	Marca	Gráfico
ODF		Es una bandeja utilizada para resguardar las conexiones de la fibra óptica.	XUNEXU	
		Tipo de conector SC		
		# de puertos 12		
		Pérdida por inserción $\leq 0,2$ dB Pérdida de retorno APC ≥ 60 dB		
Cable de fibra óptica	Cable ADSS	Cable que se utilizará en la red Feeder y la red de distribución.	Connection	
		# de hilos de fibra 12		
		Span 120 m		
		Norma ITU-T G.652D		
		Estructura cable Loose Tube		
		Modo de propagación Monomodo		
		$\leq 0,36$ dB/Km en 1310 nm		
		Coefficiente de atenuación $\leq 0,35$ dB/Km en 1383 nm $\leq 0,22$ dB/Km en 1550 nm		
		Dispersión cromática $\leq 3,5$ ps/nm.Km en 1285~1330 nm ≤ 18 ps/nm.Km en 1550 nm		
		Pérdida de macroflexión Radio: 30 mm # vueltas: 100		
Cable Drop		Cable que se utilizará en la red de dispersión.	Cablix	
		# de hilos de fibra 2		
		Span 80 m		
		Norma ITU-T G.657.A2		
		Modo de propagación Monomodo		
		$\leq 0,40$ dB/Km en 1310 nm		
	Coefficiente de atenuación $\leq 0,40$ dB/Km en 1383 nm $\leq 0,40$ dB/Km en 1550 nm			
	Radio de curvatura máximo Radio: 15 mm # vueltas: 10			
Cable Patch Cord		Cable que se utilizará para la conexión a las ONUs del usuario final.	Connection	
		Norma ITU-T G.652D		

	<p>Longitud de onda 1550 nm</p> <p>Longitud del cable 1 m</p> <p>Radio de curvatura 20 mm</p> <p>Tipo de conector SC</p> <p>Tipo de pulido APC</p> <p>Color del conector Verde</p>	
Gabinete	Gabinete para proteger y organizar equipos de red activos y pasivos.	Panduit 
	# de unidades soportadas 12	
	Dimensiones 635 mm Ancho 605 mm Alto 635 mm Profundidad	
	Estándar EIA 19in	
	Capacidad de carga 250 lb	
LCP	Punto de convergencia local donde se conectan los hilos de la fibra troncal a un Splitter de 1er nivel.	Twilightfo 
	Dimensiones 200 mm Ancho 220 mm Alto 50 mm Profundidad	
	# de puertos 12	
	Conectores soportados SC / LC	
	Capacidad de puertos 8 para SC 16 para LC	
Herrajes para postería	Usados en cada poste para la instalación y sujeción del cable de fibra óptica troncal y de distribución.	JASTech 
	Norma ASTM A36	
	Dimensión de platina 50 mm Largo 6 mm Ancho	
	Dimensión de varilla 12 mm	
Cajas NAP	Elemento que conectará la fibra de distribución con la fibra de dispersión mediante un Splitter de 2do nivel.	Genérico sin marca 
	# de Splitters 1x8	
	Dimensiones 210 mm Alto 180 mm Ancho 50 mm Profundidad	
	Pérdida por inserción $\leq 0,2$ dB	
	Pérdida de retorno UPC ≥ 50 dB	
	Pérdida de retorno APC ≥ 50 dB	
	Conector soportado SC	
Divisores ópticos	Elemento óptico pasivo que distribuirá la señal óptica en 8, ubicadas en los LPC y NAP (1er y	Connection

	2do nivel de Splitter con las mismas características)	
	# de divisiones 1x8	
	Modo de propagación Monomodo	
	Longitud de onda 1310/1490/1550 mm	
	Conectores soportados SC / UPC	
	Pérdida por inserción (IL) $\leq 10,30$ dB	
	Pérdida por uniformidad $\leq 0,80$ dB	
	Pérdida de retorno (RL) ≥ 50 dB	
	Directividad ± 55 dB	
	Pérdida dependiente de la polarización (PDL) $\leq 0,20$ dB	
	Tamaño de Pigtails 1 m	
Roseta	Elemento pasivo donde se organiza la fibra óptica que llega del cable de dispersión hacia el usuario final.	Cabliz 
	Material Plástico	
	Modo de propagación soportado Monomodo/Multimodo	
	# de puertos 2	

Autor: (Connection, 2020), (CNT, 2020), (Connection, 2017), (JASTech, 2022), (Connection, 2015)

Modificado: Autor

3.4.3. Despliegue de la Red FTTH GPON

El despliegue de la red FTTH GPON comprende desde la selección de elementos tanto activos como pasivos a utilizar en toda la ODN, así como también la realización de un diagrama unifilar que indique la organización de los equipos y elementos tales como cajas de paso y distribución, conexión de fibra necesarias para brindar servicio a 200 usuarios siendo lo establecido para un escenario ideal; finalmente, se visualizará el tendido de fibra en el mapa de Carpuela en base a todo lo realizado en los anteriores pasos.

3.4.3.1. Diagrama unifilar

Partiendo de la información obtenida sobre el número de familias con las que cuenta la comunidad de Carpuela, se ha diseñado un diagrama unifilar que hace referencia a la distribución tanto de la red troncal, distribución y dispersión, así como el número de LCP, NAP y ONU a utilizar para poder servicio a un aproximado de 200 familias.

La cantidad de equipos se los obtuvo tomando en consideración el número de puertos GPON con los que cuenta la OLT (8), el número de hilos del cable de fibra óptica tanto para la red troncal (12) como para la red de distribución (12), los niveles de Spliteo (2), y la división de la señal óptica (1x 8 en ambos niveles). Al realizar algunas combinaciones de valores en los cálculos para poder obtener un aproximado de 200 o más usuarios, se obtuvieron los siguientes resultados:

Si se toma en cuenta toda la cantidad disponible para un caso ideal:

$$\# \text{ puertos} = 8 \Rightarrow \# \text{ hilos troncal} = 8 \Rightarrow \# \text{ LCP} = 8$$

$$\# \text{ NAP} = \# \text{ LCP} * \# \text{ Spliteo 1er nivel} \Rightarrow 8 * 8 = 64$$

$$\# \text{ ONU} = \# \text{ NAP} * \# \text{ Spliteo 2do nivel} \Rightarrow 64 * 8 = \mathbf{512 \text{ usuarios}}$$

Para obtener un valor igual o mayor a los 200 se optó por reducir los LCP a la mitad, obteniendo así:

$$\# \text{ LCP} = 4$$

$$\# \text{ Spliteo 1er nivel} = 8$$

$$\# \text{ NAP} = \# \text{ LCP} * \# \text{ Spliteo 1er nivel} \Rightarrow 4 * 8 = 32$$

$$\# \text{ NAP} = 32$$

$$\# \text{ Spliteo 2do nivel} = 8$$

$$\# \text{ ONU} = \# \text{ NAP} * \# \text{ Spliteo 2do nivel} \Rightarrow 32 * 8 = 256$$

$$\# \text{ ONU} = 256$$

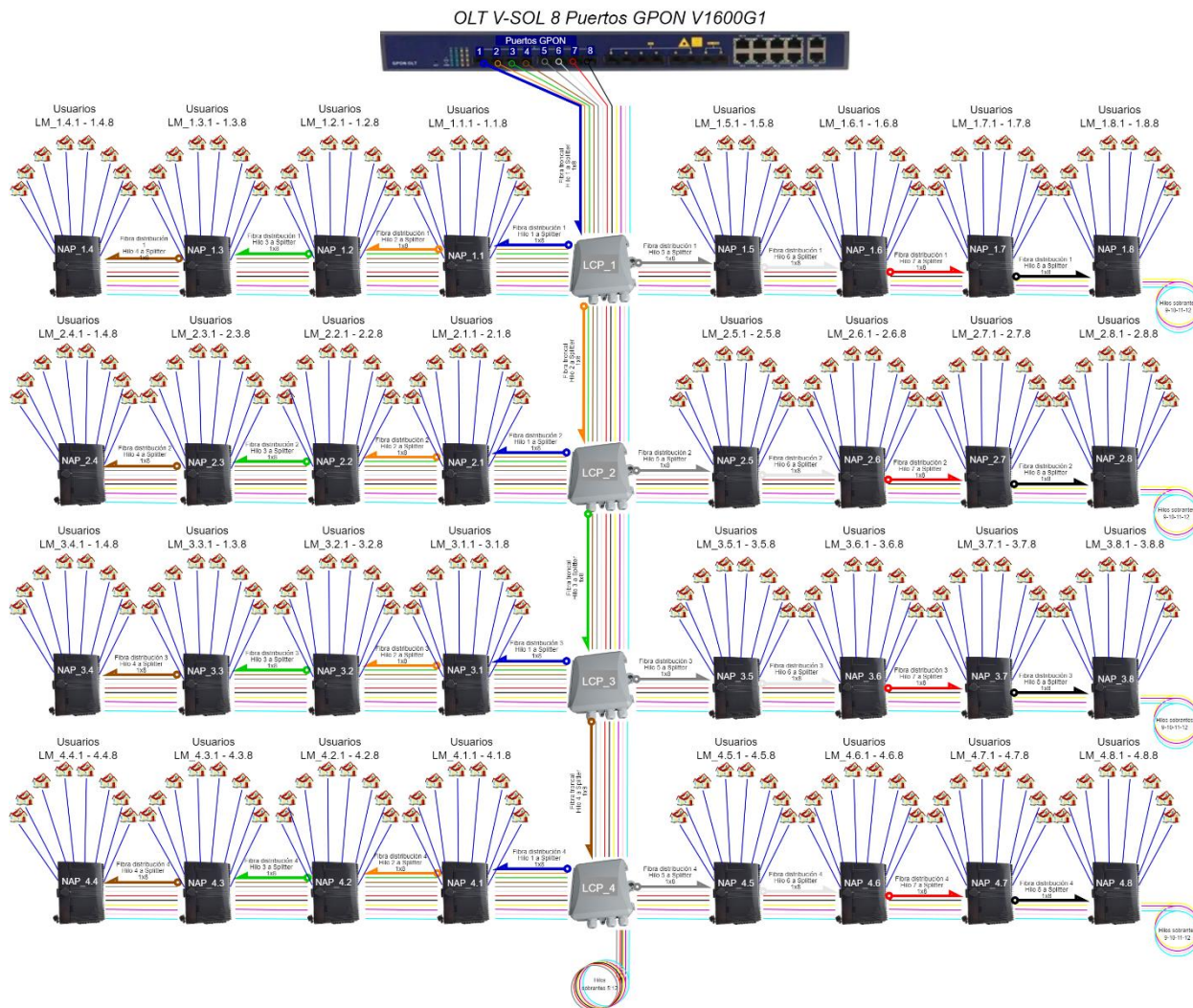
256 usuarios

El resultado es favorable en caso de existir un incremento de usuarios dentro de la comunidad que soliciten el servicio de internet, así como también queda abierta la posibilidad de expandirse hacia las comunidades vecinas con los LCP disponibles.

Para comprender mejor la explicación del número de usuarios obtenidos, en la **Figura 86** ha sido representado mediante un diagrama unifilar la repartición de la red Feeder (hilos verticales), de distribución (hilos horizontales) y de dispersión (hilos conectados a los usuarios) para observar la disponibilidad en la red diseñada, la cual puede abarcar hasta 256 clientes.

Figura 86

Diagrama unifilar de la red FTTH GPON de Carpuela



3.4.3.2. Despliegue de la red Feeder

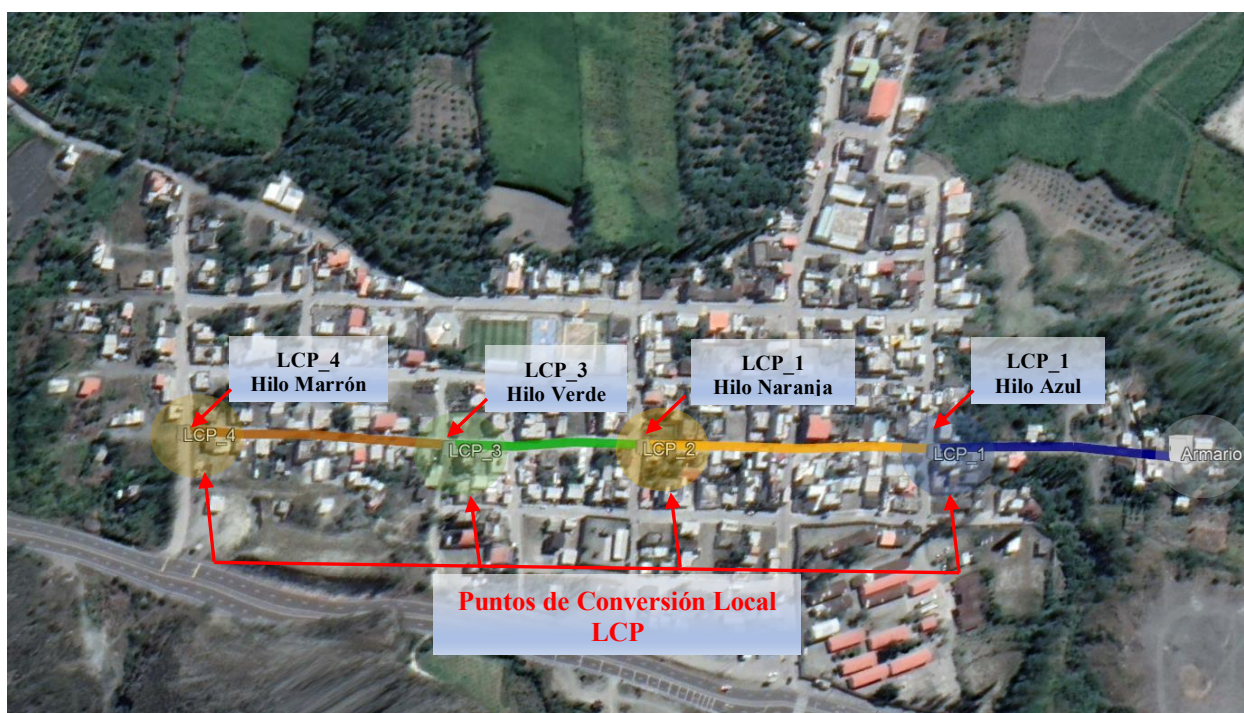
Para el despliegue de la red FTTH con GPON se tiene planeado tender por la postería de la misma calle donde está ubicado el nodo de Carpuela un cable de fibra óptica tipo ADSS de 12 hilos que recorra de este a oeste desde el gabinete central donde se encuentra la OLT hasta llegar al otro extremo de la comunidad; después, se colocarán 4 puntos de convergencia local (LCP), cada uno en un poste y estarán distanciados alrededor de unos 200 metros; y mediante el

sangrado de la fibra ADSS, se dejará un hilo en cada LCP en el orden de colores establecido en la norma TIA.598C conectado al Splitter de 1er nivel. Todo este proceso representa el tendido de la Red Feeder o Troncal.

La **Figura 87** muestra la proyección de la red Feeder y los sitios donde se ubicará el gabinete central, las LCP, y el cable de fibra ADSS.

Figura 87

Red Feeder o Troncal



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

Basándose en la figura anterior, la **Tabla 31** indica las coordenadas donde serán implementados los Puntos de Convergencia Local y el color de hilo que le corresponde a cada uno.

Tabla 31*Coordenadas de los LCP (Puntos de Convergencia Local)*

Elemento	Latitud	Longitud	Color de hilo
LCP_1	0°26'23.64"N	77°59'38.77"O	Azul
LCP_2	0°26'25.87"N	77°59'45.22"O	Naranja
LCP_3	0°26'27.25"N	77°59'49.56"O	Verde
LCP_4	0°26'29.54"N	77°59'55.38"O	Marrón

Autor: Creación propia

3.4.3.3. Despliegue de la red de Distribución

La red de distribución parte desde los LCP, dentro de éstos se encuentran los Splitters de 1er nivel 1x8, elemento donde se conectarán 8 de los 12 hilos de la fibra óptica de distribución ADSS para seguir con el tendido por los postes y tratar de cubrir la mayoría de las áreas donde están ubicadas las residencias. En la **Figura 88** se visualiza un posible despliegue de la red de distribución separada en 4 áreas.

Figura 88*Red de distribución*



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

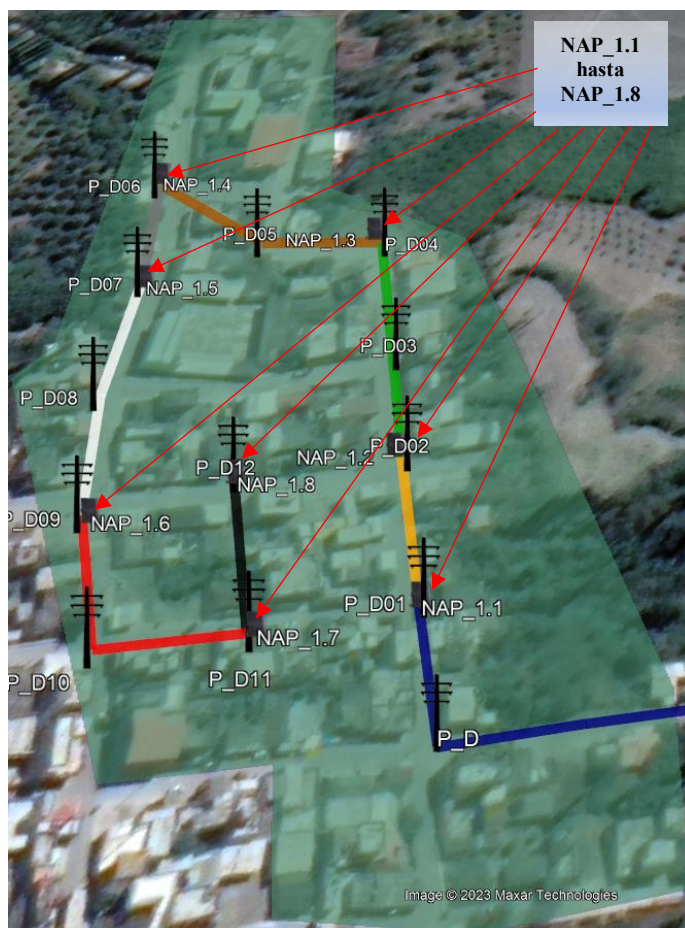
LCP_1

El área sombreada con verde oscuro representa la primera distribución donde se conectó el hilo azul de la fibra troncal a la LCP_1 ubicada en el poste P_D. Desde ese lugar comienza el despliegue de la fibra óptica de distribución, donde cada uno de los 8 hilos de la fibra de distribución que están conectados al Splitter 1x8 lleguen a las cajas NAP ubicadas en los postes separados al menos a 100 metros dependiendo el número de usuarios potenciales encontrados en dichos lugares.

La distribución de las NAP fue nombrada como NAP_1.1 hasta NAP_1.8, tal y como se ve en la **Figura 89**.

Figura 89

Distribución de NAPs en LCP_1



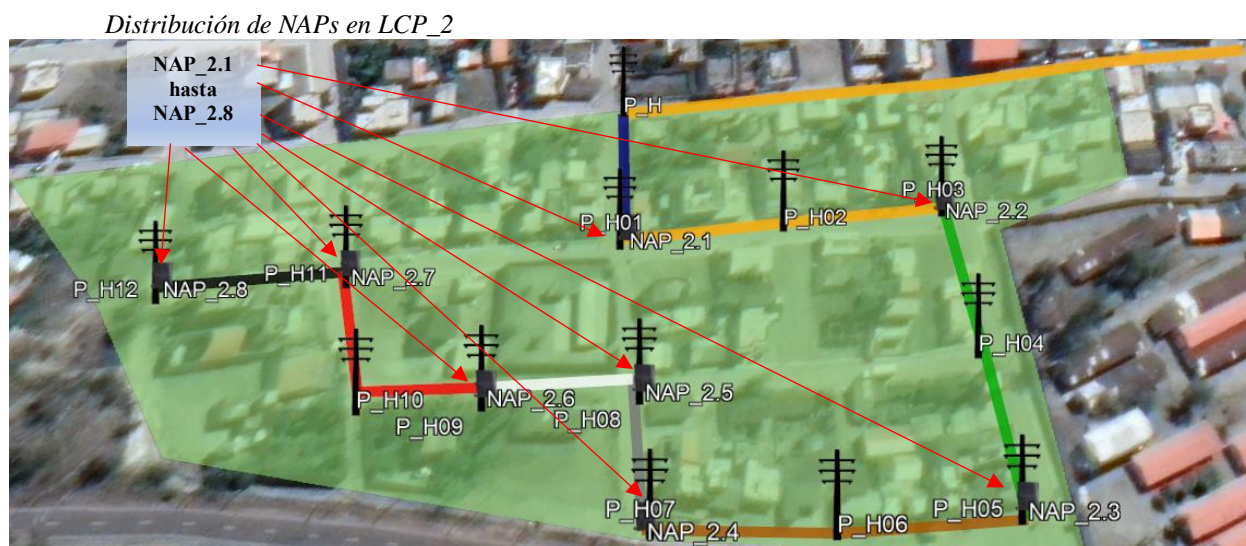
Autor: Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

LCP_2

El área sombreada con verde claro representa la segunda distribución de las NAP donde se conectó el hilo naranja de la fibra troncal a la LCP_2 ubicada en el poste P_H. Desde ese lugar comienza el despliegue de la fibra óptica de distribución, donde cada uno de los 8 hilos de la fibra de distribución que están conectados al Splitter 1x8 lleguen a las cajas NAP ubicadas en los postes separados al menos a 100 metros dependiendo el número de usuarios potenciales encontrados en dichos lugares.

La distribución de las NAP fue nombrada como NAP_2.1 hasta NAP_2.8, tal y como se ve en la **Figura 90**.

Figura 90



Autor: Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

LCP_3

El área sombreada con naranja representa la tercera distribución de las NAP donde se conectó el hilo verde de la fibra troncal a la LCP_3 ubicada en el poste P_K. Desde ese lugar comienza el despliegue de la fibra óptica de distribución, donde cada uno de los 8 hilos de la fibra de distribución que están conectados al Splitter 1x8 lleguen a las cajas NAP ubicadas en los postes separados al menos a 100 metros dependiendo el número de usuarios potenciales encontrados en dichos lugares.

La distribución de las NAP fue nombrada como NAP_3.1 hasta NAP_3.8, tal y como se ve en la **Figura 91**.

Figura 91

Distribución de NAPs en LCP_3



Autor: Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

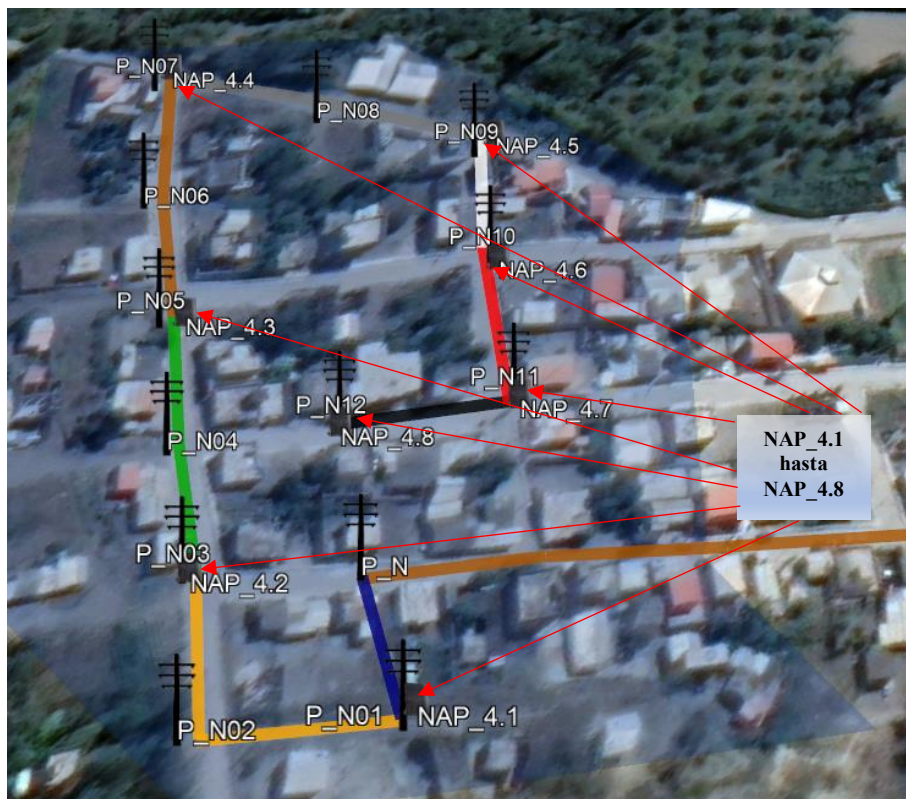
LCP_4

El área sombreada con azul representa la tercera distribución de las NAP donde se conectó el hilo marrón de la fibra troncal a la LCP_4 ubicada en el poste P_N. Desde ese lugar comienza el despliegue de la fibra óptica de distribución, donde cada uno de los 8 hilos de la fibra de distribución que están conectados al Splitter 1x8 lleguen a las cajas NAP ubicadas en los postes separados al menos a 100 metros dependiendo el número de usuarios potenciales encontrados en dichos lugares.

La distribución de las NAP fue nombrada como NAP_4.1 hasta NAP_4.8, tal y como se ve en la **Figura 92**.

Figura 92

Distribución de NAPs en LCP_4



Autor: Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

Para tener una mayor comprensión de la simbología y la nomenclatura colocada en la figura anterior, se creó la **Tabla 32** donde, se menciona la nomenclatura tanto de los postes, color de hilos, las cajas NAP con sus respectivas coordenadas.

Tabla 32

<i>Nomenclatura de la red de distribución</i>							
Áreas	Red Troncal	Distancia de cable	Red de distribución	Postes	Latitud	Longitud	Color de hilo
Área 1 (Verde oscuro)	LCP_1 Hilo Azul	289,35 m.	NAP_1.1	P_D01	0°26'25.03"N	77°59'38.34"O	Azul
			NAP_1.2	P_D02	0°26'26.91"N	77°59'37.76"O	Naranja
			NAP_1.3	P_D04	0°26'29.82"N	77°59'36.75"O	Verde
			NAP_1.4	P_D06	0°26'31.79"N	77°59'38.77"O	Marrón
			NAP_1.5	P_D07	0°26'30.34"N	77°59'39.48"O	Gris
			NAP_1.6	P_D09	0°26'27.58"N	77°59'41.01"O	Blanco
			NAP_1.7	P_D11	0°26'25.57"N	77°59'39.90"O	Rojo
			NAP_1.8	P_D12	0°26'27.33"N	77°59'39.37"O	Negro

Área 2 (Verde claro)	LCP_2 Hilo Naranja	586,13 m.	NAP_2.1	P_H01	0°26'24.46"N	77°59'45.76"O	Azul
			NAP_2.2	P_H03	0°26'23.35"N	77°59'42.69"O	Naranja
			NAP_2.3	P_H05	0°26'20.21"N	77°59'43.60"O	Verde
			NAP_2.4	P_H07	0°26'21.58"N	77°59'46.83"O	Marrón
			NAP_2.5	P_H08	0°26'22.85"N	77°59'46.29"O	Gris
			NAP_2.6	P_H09	0°26'23.46"N	77°59'47.68"O	Blanco
			NAP_2.7	P_H11	0°26'25.30"N	77°59'48.44"O	Rojo
			NAP_2.8	P_H12	0°26'25.99"N	77°59'50.18"O	Negro
Área 3 (Marrón)	LCP_3 Hilo Verde	507,15 m.	NAP_3.1	P_K01	0°26'28.65"N	77°59'49.10"O	Azul
			NAP_3.2	P_K03	0°26'27.54"N	77°59'46.05"O	Naranja
			NAP_3.3	P_K05	0°26'26.63"N	77°59'43.12"O	Verde
			NAP_3.4	P_K06	0°26'28.40"N	77°59'42.49"O	Marrón
			NAP_3.5	P_K07	0°26'29.05"N	77°59'44.16"O	Gris
			NAP_3.6	P_K08	0°26'29.60"N	77°59'45.60"O	Blanco
			NAP_3.7	P_K09	0°26'30.12"N	77°59'47.18"O	Rojo
			NAP_3.8	P_K10	0°26'30.68"N	77°59'48.84"O	Negro
Área 4 (Azul)	LCP_4 Hilo Marrón	555,47 m.	NAP_4.1	P_N01	0°26'27.75"N	77°59'54.14"O	Azul
			NAP_4.2	P_N03	0°26'29.60"N	77°59'55.50"O	Naranja
			NAP_4.3	P_N05	0°26'32.16"N	77°59'54.46"O	Verde
			NAP_4.4	P_N07	0°26'35.08"N	77°59'53.46"O	Marrón
			NAP_4.5	P_N09	0°26'32.83"N	77°59'50.85"O	Gris
			NAP_4.6	P_N10	0°26'31.45"N	77°59'51.51"O	Blanco
			NAP_4.7	P_N11	0°26'29.98"N	77°59'52.03"O	Rojo
			NAP_4.8	P_N12	0°26'30.43"N	77°59'53.63"O	Negro

Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

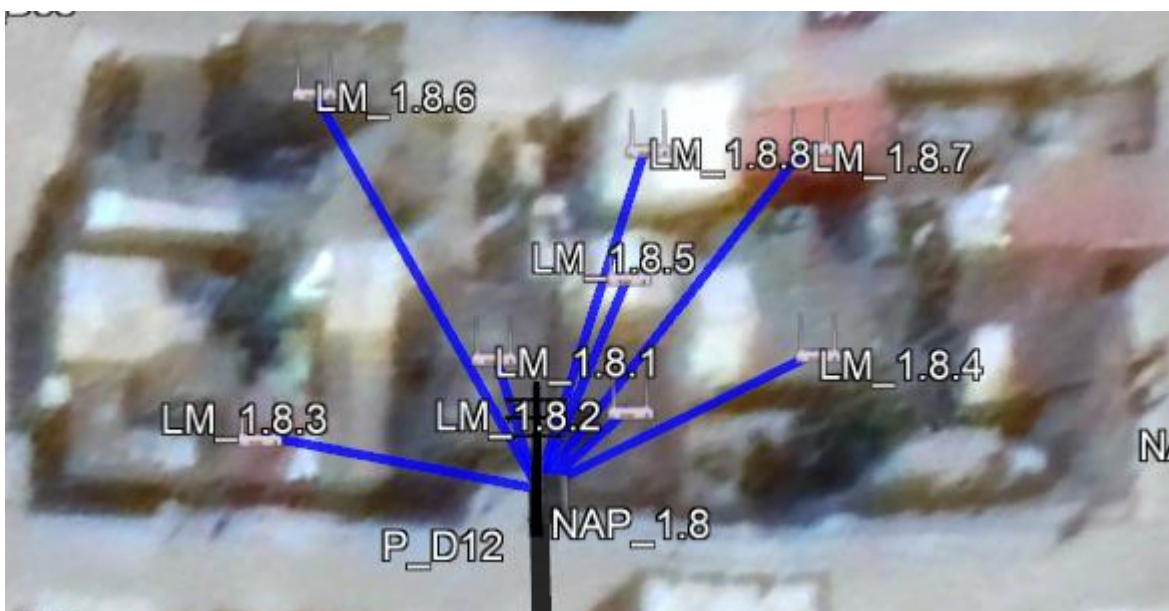
3.4.3.4. Despliegue de la red de Dispersión

Finalmente, ya realizados los despliegues de la red Feeder y la red de Distribución se procederá llegar a la Última Milla, es decir, los usuarios finales que contarán con su propia ONU. Para cada usuario se utilizará un cable Drop de dos hilos, siendo el primer hilo (azul) el que se conectará en un puerto del Splitter de 2do nivel 1x8 de la caja NAP. Se debe tomar en consideración que la distancia que puede existir entre la caja NAP y la ONU es de 100 metros según la norma, pero en la práctica se extiende hasta los 200 metros.

En la **Figura 93** se muestra el bloque de posibles usuarios conectados desde la NAP_1.8 hacia los usuarios de la última milla.

Figura 93

Fracción de la red de dispersión



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

En la **Tabla 33** se encontrará la nomenclatura de los equipos finales del usuario junto con las coordenadas y la distancia del cable Drop utilizado.

Tabla 33

Nomenclatura de una fracción de la red de dispersión

Área	Red de distribución	Postes	ONU	Distancia de fibra	Latitud	Longitud
Área 1	NAP_1.8	P_D12	LM_1.8.1	11 m	0°26'27.76"N	77°59'39.46"O
			LM_1.8.2	10 m	0°26'27.53"N	77°59'39.18"O
			LM_1.8.3	22 m	0°26'27.76"N	77°59'40.08"O
			LM_1.8.4	25 m	0°26'27.51"N	77°59'38.68"O
			LM_1.8.5	18 m	0°26'27.85"N	77°59'39.07"O
			LM_1.8.6	37 m	0°26'28.57"N	77°59'39.69"O
			LM_1.8.7	35 m	0°26'28.02"N	77°59'38.52"O
			LM_1.8.8	29 m	0°26'28.15"N	77°59'38.92"O

Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

3.4.4. Presupuesto de potencia óptico/Presupuesto óptico

Gracias al cálculo del presupuesto de potencia es posible determinar la cantidad de potencia óptica necesaria para transmitir información a través de una fibra óptica. Esta potencia es necesaria para mantener un nivel de señal suficientemente alto en el extremo receptor, asegurando una transmisión confiable libre de errores.

Para realizar el presupuesto de potencia óptica es importante determinar los requisitos de transmisión, eso incluye conocer la longitud de la fibra, la velocidad de transmisión de los datos y el ancho de banda requerido.

3.4.4.1. Longitud del cable de fibra óptica

Este parámetro se lo puede calcular de momento sólo en el cable de fibra ADSS en vista de que los LCP y las NAP quedan fijas en el diseño ya establecido y el cable usado es el mismo para la red troncal y la red de distribución. Por lo tanto, sumando toda la fibra ADSS y aumentando un 15% a ese resultado se obtendrá el total de cable utilizado para la red FTTH antes de llegar a la Última Milla.

La **Tabla 34** indica la distancia en metros del cable ADSS utilizado en la red de fibra óptica tomada de la red de troncal que inicia desde la OLT hasta el último LCP; y los cables ADSS que parten de los LCP por la red de distribución. La suma total multiplicada por 1,15 será el total de fibra a utilizar.

Tabla 34

Cálculo del total de la fibra ADSS de la red FTTH

Redes	Cantidad (metros)
--------------	--------------------------

Red troncal	
OC - LCP_1	183,48
LCP_1 - LCP_2	210,99
LCP_2 - LCP_3	140,66
LCP_3 - LCP_4	149,31
Red de distribución	
LCP_1	289,35
LCP_2	586,13
LCP_3	507,15
LCP_4	555,47
Subtotal:	2622,54
15%:	393,38
Total:	3015,92

Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

Una vez realizado la medición y la sumatoria de todo el cable ADSS desplegado se obtuvo como resultado la cantidad de 2622,54 metros, tomando en cuenta el 15% de cable adicional para dejar reservas en las cajas y cualquier otro detalle presentado en el tendido. La suma total da como resultado que la red troncal y la red de distribución necesitan 3015,92 metros de cable. Por lo tanto, se podría optar por adquirir una bobina ADSS de 3 Km para el despliegue de la red en Carpuela.

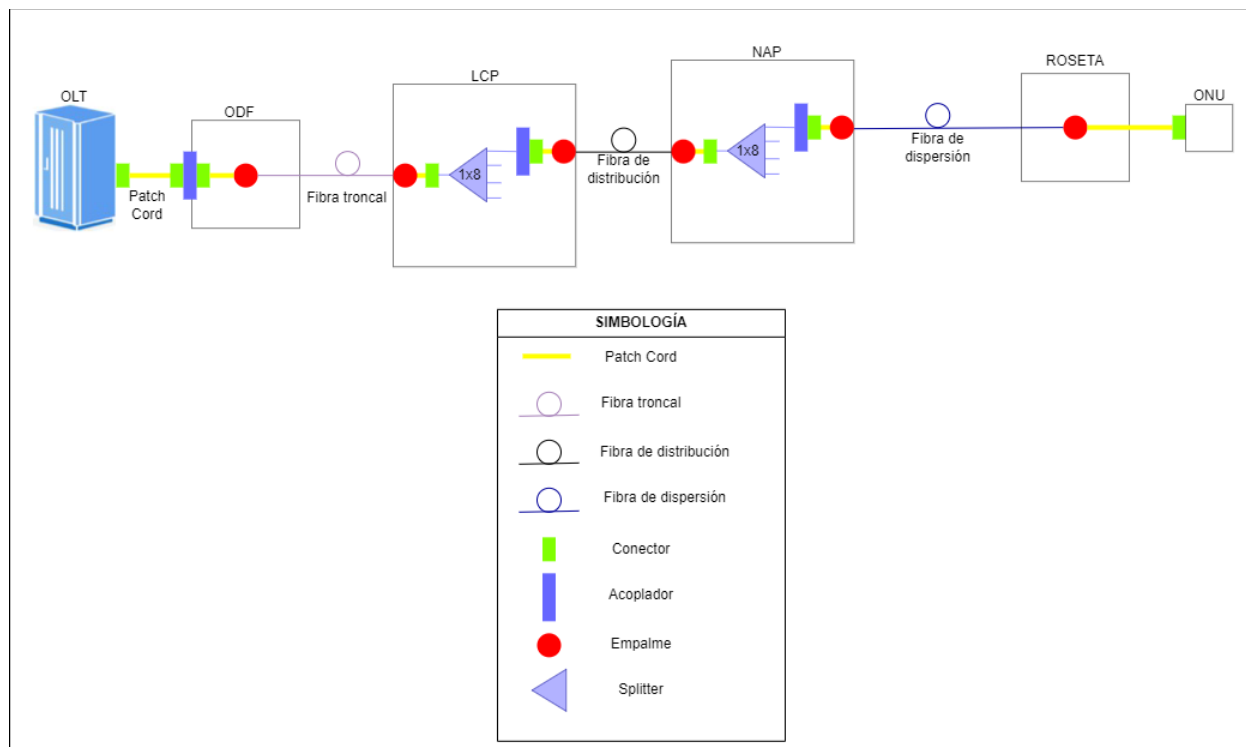
En caso de querer realizar un cálculo del presupuesto óptico y no se conoce la distancia de la fibra Drop, basta con apegarse a la norma G.657.A2 y establecer una distancia de fibra de máximo 100 metros.

3.4.4.2. Atenuaciones presentadas en la ODN

Una vez conocidas las medidas del cable de fibra óptica necesario para el despliegue de la red se listarán todos los elementos pasivos que generen atenuación dentro de la ODN. La **Figura 94** representa un esquema de la ODN donde se incluyen la potencia de transmisión y atenuaciones de los conectores, empalmes, acopladores, atenuación por cables, entre otros.

Figura 94

Diagrama de la red de distribución óptica (ODN)



Autor: Creación propia

Nota: Todos los conectores serán de tipo SC y los tipos de pulidos dependen del lugar donde se utilizarán, utilizando SC/APC en la ODF y las cajas LCP y NAP; en cambio, para conectar la fibra Drop con la ONU.

Ya conocidos todos los elementos involucrados en la red FTTH, se colocarán en la **Tabla 35** las potencias y otros valores importantes de los elementos activos de la red y en la **Tabla 36** se pérdidas en la señal.

Tabla 35

Ganancia de potencia en elementos activos de la red FTTH GPON

Parámetro	OLT	ONT
Clase GPON	Clase B+	Clase B+
Potencia de Transmisión	2.5dBm	4 dBm
Sensibilidad de Receptor	≤ -28 dBm	≤ -28 dBm
Potencia óptica de saturación	≥ -8 dBm	≥ -8 dBm

Transmisión	1490 nm	1310 nm
Recepción	1310 nm	1490 nm

Autor: Creación propia

Tabla 36

Pérdida de potencia en elementos pasivos de la FTTH GPON

Elemento	Pérdidas	
	Valor	Unidad
Cable ADSS	$\leq 0,22$	dB/Km
Cable Drop	$\leq 0,40$	dB/Km
Splitter 1x8	$\leq 10,30$	dB
Conector	$\leq 0,2$	dB
Acoplador	$\leq 0,1$	dB
Empalme por fusión	0,1	dB
Margen de seguridad	1	dB

Autor: Creación propia

Cuando ya se obtuvieron todos los datos necesarios para realizar el cálculo del presupuesto de atenuación, es hora de decidir la ruta más cercana y lejana de los usuarios para comprobar si el nivel de potencia de estos dos casos es el adecuado para realizar la transmisión.

3.4.4.3. Potencia recibida por el Cliente más cercano

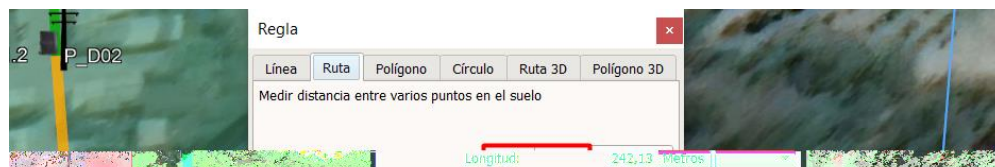
El cálculo del cliente más cercano es un valor importante para comprobar que no exceda el nivel de saturación aceptado por la ONU, ya que, de acuerdo con la información recopilada en la Tabla 28, la potencia que puede recibir la unidad de red óptica no debe ser mayor a los -8 dBm.

Longitud de la fibra óptica

Con la ayuda de Google Earth se analizará la ruta más corta dentro de la red y será visualizada en la **Figura 95**.

Figura 95

Vista del cliente más cercano



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

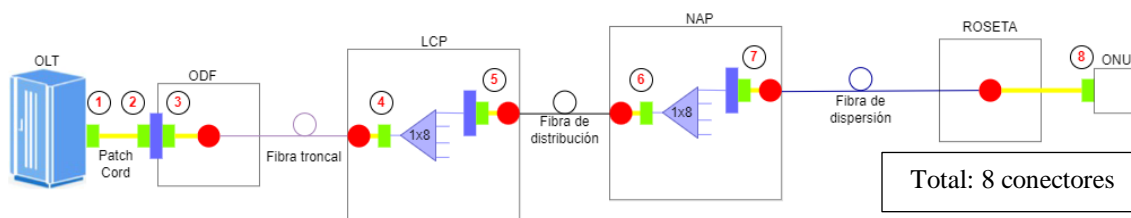
A simple vista, era de esperar que el cliente más cercano se encuentre en la primera NAP de la primera LCP. Para llegar a este cliente se necesitan al menos 231 metros de fibra ADSS y al menos 11,13 metros de fibra Drop (este último es un valor aleatorio en vista de que se desconoce aún la ubicación de la ONU del cliente).

Número de conectores

En la **Figura 96** se definirá el número de conectores que intervienen en el enlace.

Figura 96

Número de conectores en la red de distribución óptica



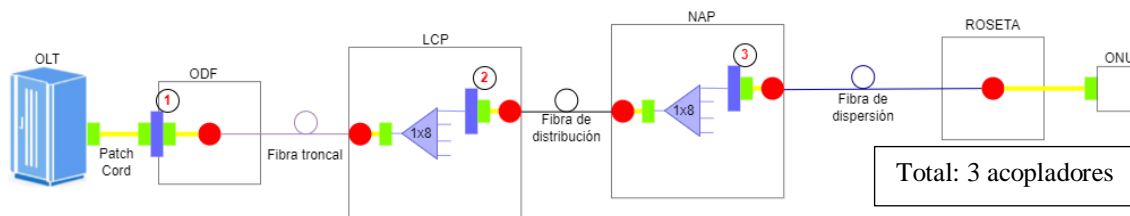
Autor: Creación propia

Número de acopladores

En la **Figura 97** se definirá el número de acopladores que intervienen en el enlace.

Figura 97

Número de acopladores en la red de distribución óptica



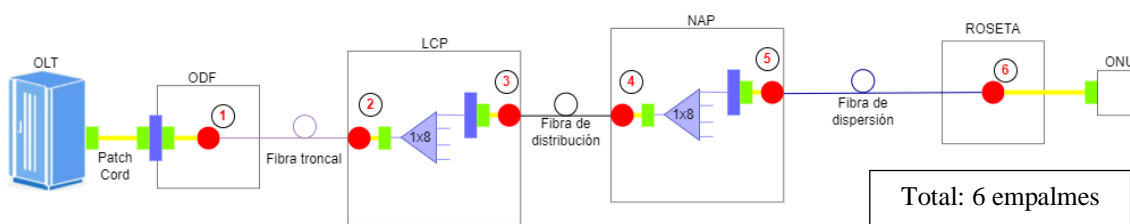
Autor: Creación propia

Número de empalmes por fusión

En la **Figura 98** se definirá el número de empalmes por fusión que intervienen en el enlace.

Figura 98

Número de empalmes por fusión en la red de distribución óptica



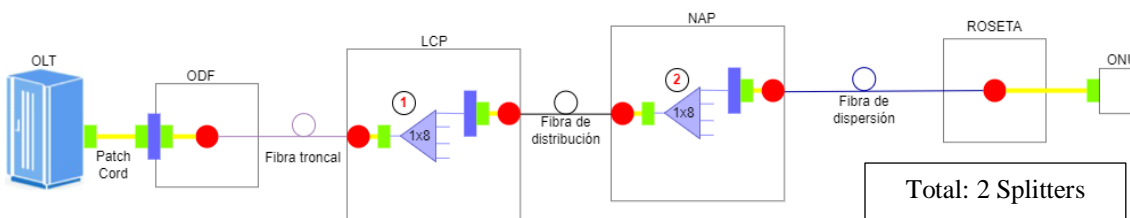
Autor: Creación propia

Número de Splitters

En la **Figura 99** se definirá el número de Splitters que intervienen en el enlace.

Figura 99

Número de Splitters en la red de distribución óptica



Autor: Creación propia

Con estos últimos datos obtenidos se puede comenzar a realizar los cálculos para encontrar la atenuación total, para mayor facilidad, se enlistarán en la **Tabla 37** todos los

elementos junto con sus valores de pérdidas, la potencia de la OLT es de 2,5 dBm por contar con un módulo GPON de clase B+.

Tabla 37

Pérdida total dentro del enlace más cercano

Elemento	Cantidad	Pérdida	Pérdida total
Cable ADSS	0,231 Km.	0,22 dB/Km	0,05 dB
Cable Drop	0,01113 Km.	0,40 dB/Km	0,0045 dB
Splitter 1x8	2	10,30 dB	20,6 dB
Conector	8	0,2 dB	1,6 dB
Acoplador	3	0,1 dB	0,3 dB
Empalme por fusión	6	0,1 dB	0,6 dB
Margen de seguridad	1	1 dB	1 dB

Autor: Creación propia

Mediante la **Ecuación 12** se encontrará la atenuación total del cliente más cercano.

$$Ate_{.tot} = Pot_{tx} - Ate_{.cab} - Ate_{.con} - Ate_{.adp} - Ate_{.emf} - Ate_{.emm} - Ate_{.spl} - Marg.$$

$$Ate_{.tot} = 2,5dBm - 0,05dB - 0,0045dB - 1,6dB - 0,3dB - 0,6dB - 20,6dB - 1dB$$

$$Ate_{.tot} = -21,66 dBm$$

Con el resultado obtenido en el cálculo del presupuesto de potencia óptico se pudo comprobar que la potencia que llega al equipo ONU se encuentra en el rango recomendado de saturación y sensibilidad, siendo -21,66 dBm la potencia generada por toda la red FTTH GPON para el usuario más cercano.

$$Satu. Rx \geq Ate_{.tot} Rx \geq Sens. Rx$$

$$-8dBm \geq -21,66 dBm \geq -28 dBm$$

3.4.4.4. Potencia recibida por el Cliente más lejano

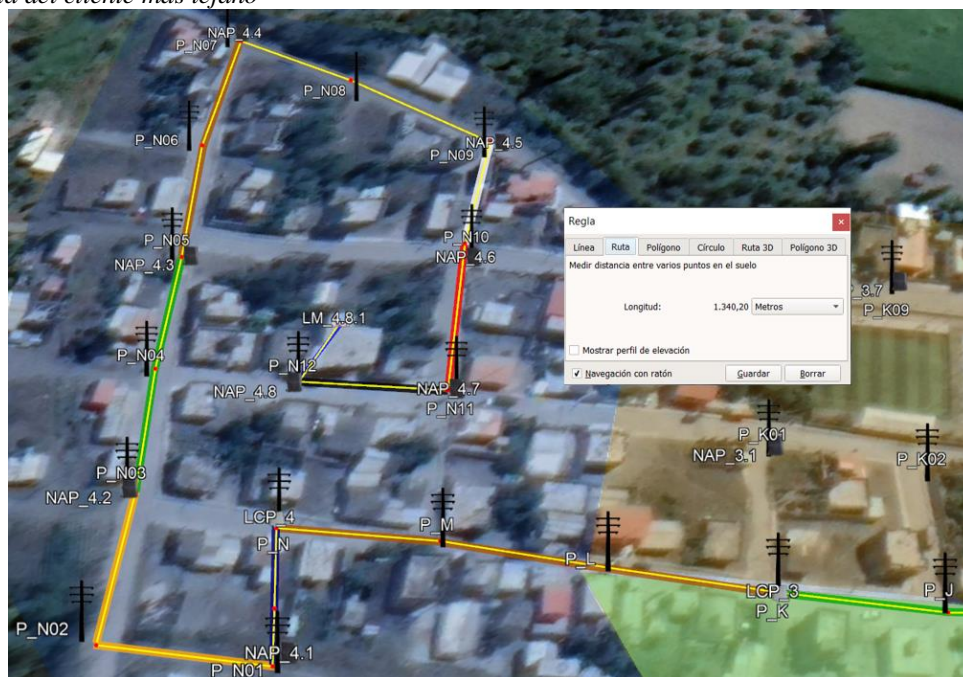
Este cálculo es muy similar al realizado en el cliente más lejano, los datos que difieren son los de la distancia de los cables de fibra óptica, en cuanto a los demás elementos son los mismos y la misma cantidad de unidades utilizadas.

Longitud de la fibra óptica

Basándose nuevamente en la imagen y herramientas que ofrece Google Earth, se analizará esta vez la ruta más larga dentro de la red y será visualizada en la **Figura 100**.

Figura 100

Vista del cliente más lejano



Autor: (Google Earth, 2023) Modificado: Autor

De acuerdo con la herramienta de Google Earth, para llegar al cliente más lejano se necesita disponer de al menos 1240,20 metros de cables ADSS y 100 metros de cable Drop (considerando que es el valor máximo que debe tener este tipo de fibra desde la NAP a la ONU), dando un total de 1340,20 metros de cable a utilizar para el tendido de este usuario.

En cuanto a los demás elementos necesarios, se conservarán los mismos valores, por lo tanto, en la **Tabla 38** se presenta la pérdida total dentro de la red que conecta al usuario más lejano, tomando en cuenta nuevamente que la potencia de transmisión de la OLT es de 2,5 dBm.

Tabla 38

Pérdida total dentro del enlace más lejano

Elemento	Cantidad	Pérdida	Pérdida total
Cable ADSS	1,24 Km.	0,22 dB/Km	0,27 dB
Cable Drop	0,1 Km.	0,40 dB/Km	0,04 dB
Splitter 1x8	2	10,30 dB	20,6 dB
Conector	8	0,2 dB	1,6 dB
Acoplador	3	0,1 dB	0,3 dB
Empalme por fusión	6	0,1 dB	0,6 dB
Margen de seguridad	1	1 dB	1 dB

Autor: Creación propia

La **Ecuación 12** indica el cálculo a realizar para encontrar la atenuación total del cliente más lejano.

$$Ate_{.tot} = Pot_{tx} - Ate_{.cab} - Ate_{.con} - Ate_{.adp} - Ate_{.emf} - Ate_{.emm} - Ate_{.spl} - Marg.$$

$$Ate_{.tot} = 2,5dBm - (0,27 + 0,04)dB - 1,6dB - 0,3dB - 0,6dB - 20,6dB - 1dB$$

$$Ate_{.tot} = -21,91 dBm$$

Con el resultado obtenido en el cálculo del presupuesto de potencia óptico se pudo comprobar que la potencia que llega al equipo ONU se encuentra en el rango recomendado de saturación y sensibilidad, siendo -21,91 dBm la potencia generada por toda la red FTTH GPON para el usuario más lejano, el resultado varía con centésimas frente al resultado obtenido en la ruta más cercana.

$$Satu. Rx \geq Ate_{.tot} Rx \geq Sens. Rx$$

$$-8dBm \geq -21,91 dBm \geq -28 dBm$$

De esta manera queda concluido que es posible llegar a brindar un servicio de calidad dentro de los parámetros requeridos por los equipos que conforman la ODN y que la idea de una expansión dentro de la red puede llegar suscitarse si así lo requiere en un futuro por temas de escalabilidad.

Los resultados obtenidos del enlace FTTH GPON serán comparados y analizados nuevamente con los resultados generados en el Software de simulación desarrollado en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN DE LA RED HÍBRIDA PUNTO A PUNTO - FTTH GPON

En este capítulo se abordará la simulación de las redes tanto microondas como de fibra óptica, el objetivo es confirmar que los resultados teóricos obtenidos en el capítulo anterior son verídicos y llegar a tener una mayor garantía en caso de querer implementar el presente diseño en un futuro. El software utilizado para la red inalámbrica tiene como nombre RadioMobile, herramienta de libre distribución que se utiliza en el cálculo de radioenlaces de larga distancia; también, se utilizará el software Xirio online, que cuenta con similares funciones que RadioMobile, así que servirá a manera de comprobación de los resultados obtenidos en ambos Software. Para la parte de fibra óptica se utilizará el software Optisystem, ideal para diseñar esquemas de red de fibra óptica y comprobar la factibilidad de estos.

4.1. SIMULACIÓN DE LA RED PUNTO A PUNTO

Para la sección de la simulación del radioenlace se utilizarán dos programas enfocados en escenarios de prueba para el despliegue de una red punto a punto o punto a multipunto con el fin de predecir las condiciones necesarias dentro de un enlace de transmisión inalámbrico hasta llegar a establecer los parámetros mejor recomendados para un enlace de calidad, confiable y eficiente.

Para la simulación se dispondrán de dos diferentes software especializados en redes inalámbricas como son Radio Mobile y Xirio Online, los cuales cuentan con características diferentes. Aunque fueron desarrolladas para el mismo propósito, Radio Mobile se destaca por ser una herramienta más avanzada y compleja que requiere un mayor nivel de conocimientos

técnicos, en cambio Xirio Online está diseñada para ser más fácil de usar y accesible para usuarios menos especializados.

4.1.1. Simulación con RadioMobile

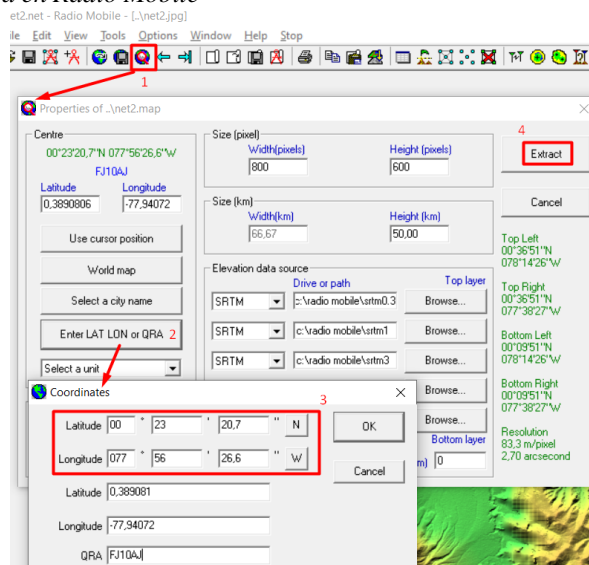
Radio Mobile es un software utilizado para planificar y diseñar sistemas de comunicación inalámbrica de diferente tipo; permite evaluar la cobertura, la calidad, la atenuación y otros factores importantes en la señal que pueden afectar el rendimiento de la red.

Los parámetros importantes por considerar en la simulación al igual que en el diseño son la ubicación de las estaciones transmisoras, la línea de vista, la potencia de transmisión, la sensibilidad del receptor y la antena de alta ganancia.

Por lo tanto, como primer paso se definirán las propiedades del mapa, es decir, el área de trabajo donde estarán ubicadas las 3 estaciones. Desde la **Figura 101** es posible visualizar la ventana de propiedades del mapa, donde se fijará el punto central del mapa que será la coordenada de la estación de Pimampiro, junto al tamaño, la altura y la elevación fijada para comenzar a realizar la simulación.

Figura 101

Propiedades del mapa en Radio Mobile

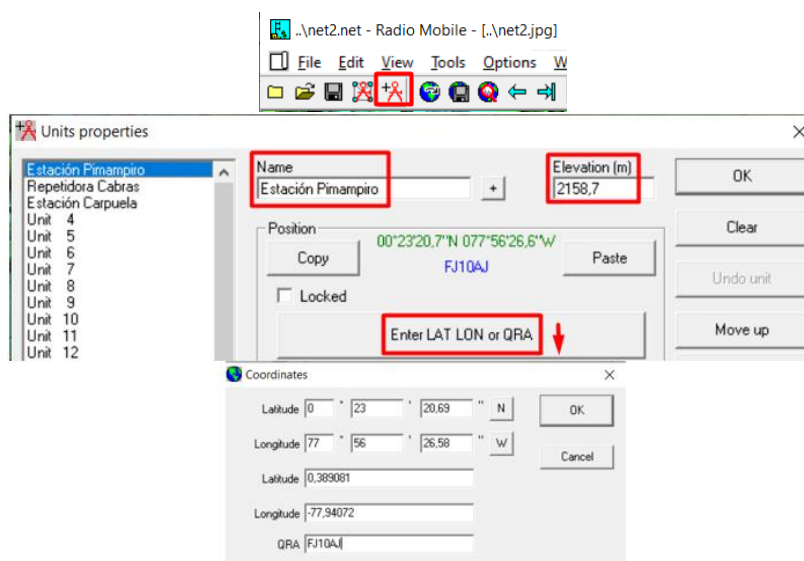


Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Una vez establecido el punto central del mapa se procederá a fijar los puntos donde estarán ubicadas tanto las estaciones como la repetidora. En base a la **Tabla 21** se han creado las estaciones Pimampiro, Cabras y Carpuela a través de la opción “Units properties” tal y como se ve en la **Figura 102**, **Figura 103** y **Figura 104** respectivamente.

Figura 102

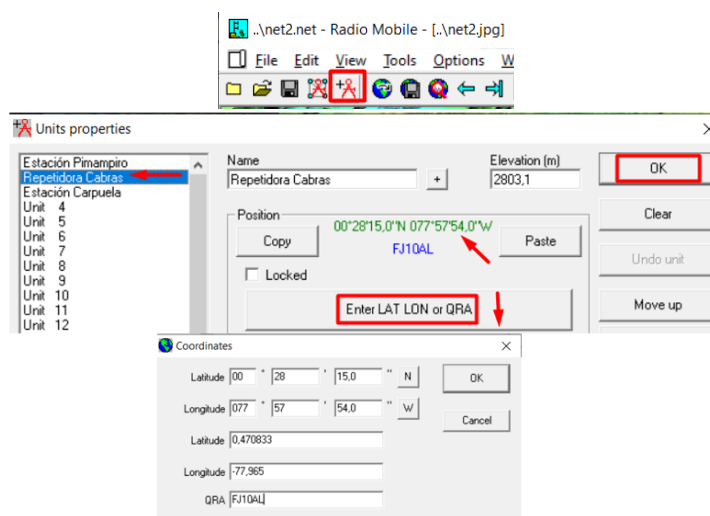
Creación de la Estación Pimampiro



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Figura 103

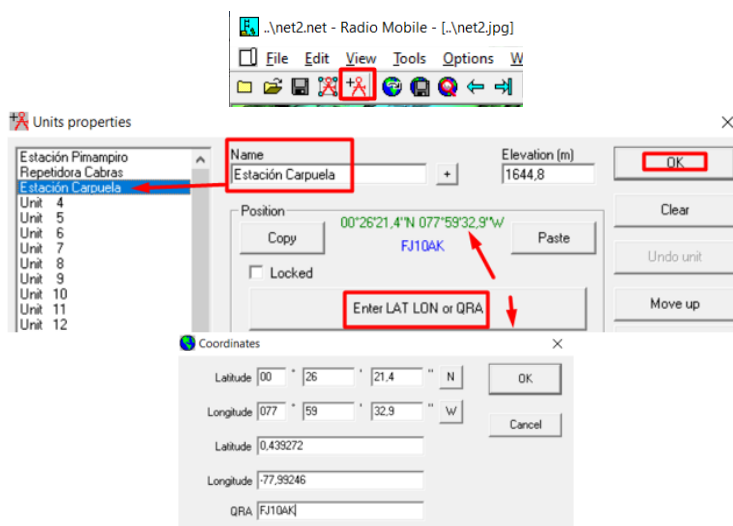
Creación de la Repetidora Cabras



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Figura 104

Creación de la Estación Carpuela

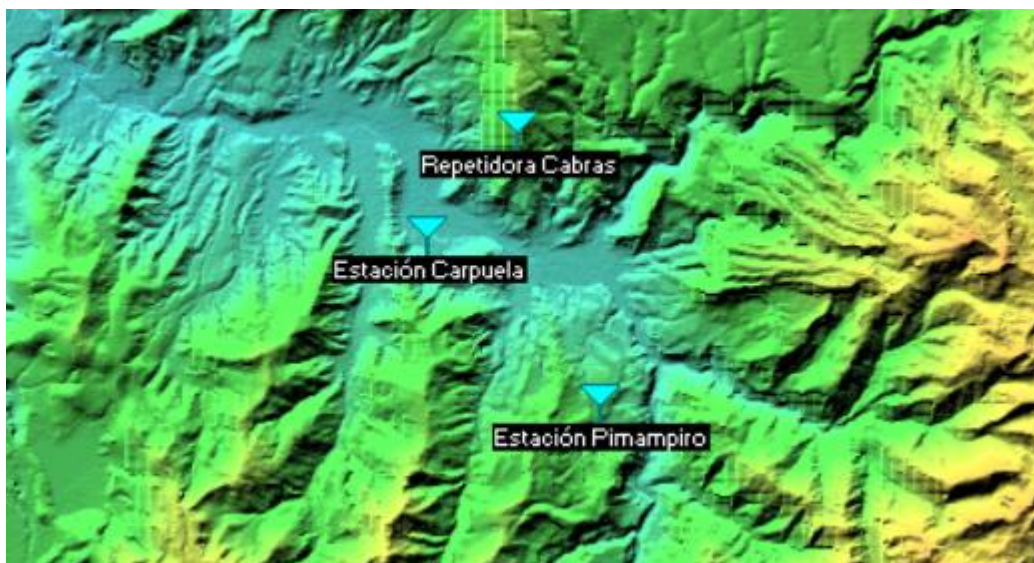


Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Cuando ya se guardaron los cambios en la creación de unidades, en la **Figura 105** se observará en el mapa principal que las estaciones fueron creadas para después realizar el enlace de estación a estación.

Figura 105

Ubicación de las estaciones inalámbricas

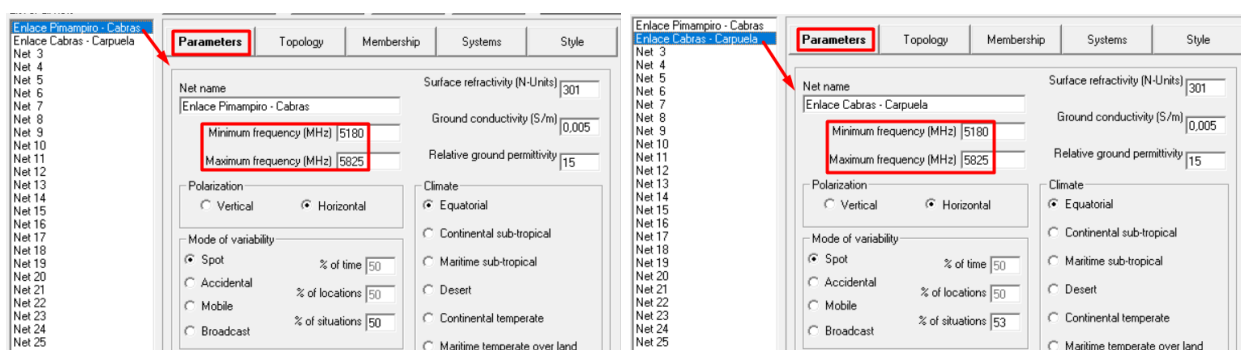


Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Para poder establecer la conexión entre enlaces se utilizará la herramienta de propiedades de la red, donde se desplegará una ventana que cuenta con 5 pestañas a configurar. En la primera pestaña vista en la **Figura 106** se establecen los parámetros como el nombre de la red, las frecuencias máximas y mínimas de trabajo y la polarización. Existen más parámetros especiales que no serán utilizados debido a que el terreno donde se realiza la transmisión está en su totalidad despejado.

Figura 106

Network properties – Parámetros de los 2 enlaces

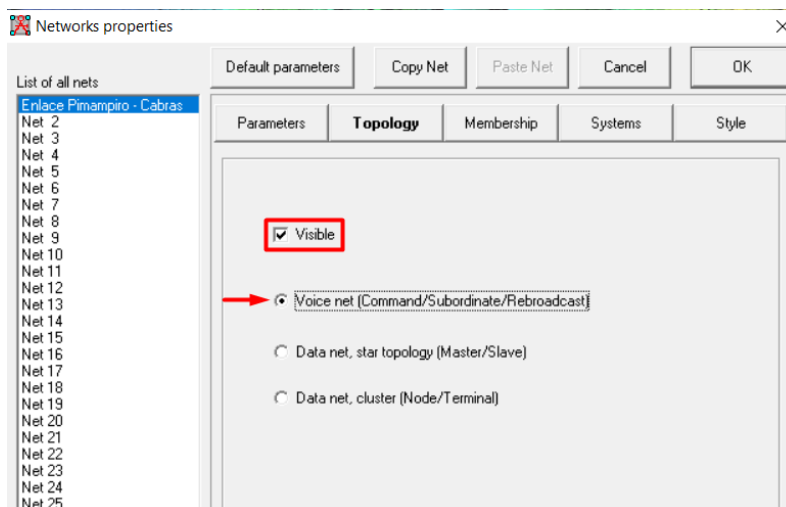


Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

La siguiente pestaña por configurar es la de topología, donde se requiere que se encuentre tildada la opción “visible” para poder visualizar los enlaces de la red, luego se escogerá el tipo de red a desplegar, como no existe la opción Punto a Punto se escogerá la primera opción, ya que las otras 2 hacen referencia a enlaces Punto a Multipunto. Las propiedades de la topología de redes aparecen en la **Figura 107**.

Figura 107

Network properties - Topology

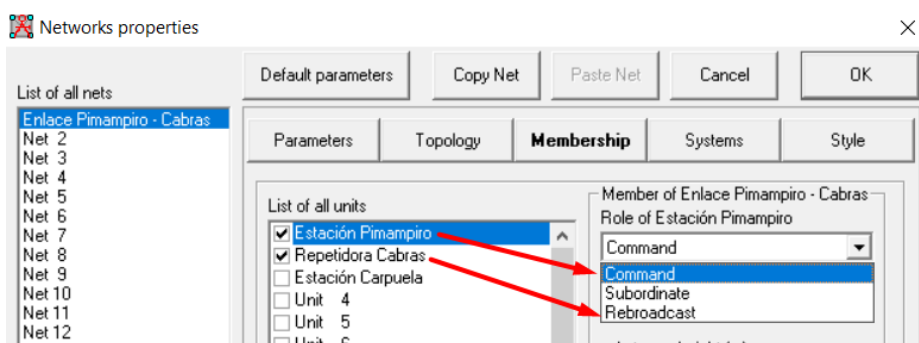


Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

El siguiente paso es definir los miembros o estaciones que formarán parte del primer enlace, en este caso son las estaciones Pimampiro y Cabras, en el siguiente caso son las estaciones Cabras – Carpuela. Hay que tener en cuenta los roles de cada estación, para poder distinguir entre estación principal y repetidora, tal y como se observa en la **Figura 108**, donde la antena principal será la de Pimampiro y la antena repetidora será la del cerro Cabras.

Figura 108

Network properties - Membership



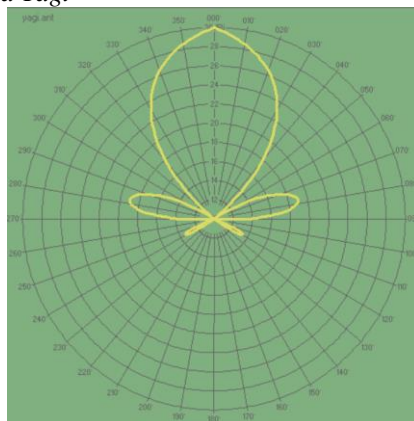
Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

En la siguiente pestaña llamada “Systems” se establecerán datos importantes como la potencia de la transmisión en Watts o en dBm, el umbral de recepción en micro volts o dBm, pérdida en cables, así como también el tipo de antena para el enlace. El tipo de antena debe ser

direccional, por lo que la opción más idónea es seleccionar la tipo Yagi, cuyo patrón se presenta en la **Figura 109** a través de la opción “view”.

Figura 109

Patrón de radiación de antena Yagi



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Otros aspectos dentro de la pestaña “Systems” es la ganancia de la antena en dBi, la altura y la pérdida del cable adicional si es que fuese necesario. En la **Figura 110** se muestran los parámetros del primer enlace.

Figura 110

Network properties - Systems

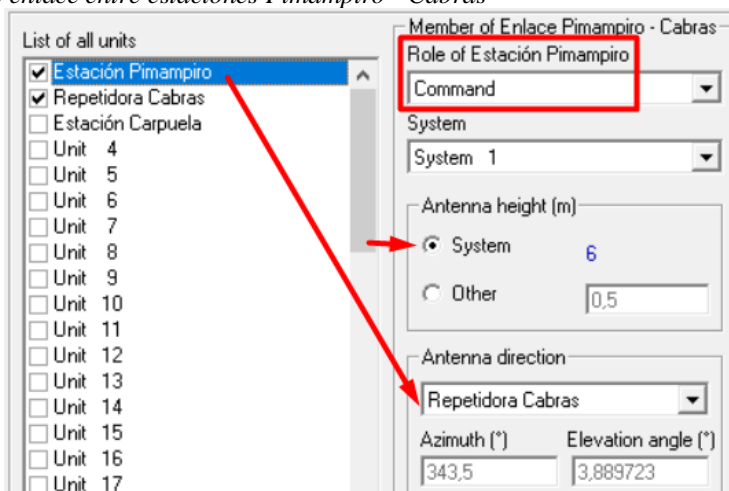
Parameters	Topology	Membership	Systems	Style
00	Select from Base ...	Mobile ...		
System name	System 1			
Transmit power (Watt)	0,50118723	(dBm)	27	
Receiver threshold (µV)	7,0795	(dBm)	-90	
Line loss (dB)	0	(Cable+cavities+connectors)		
Antenna type	yagi.ant		View	
Antenna gain (dBi)	30	(dBd)	27,85	
Antenna height (m)	6	(Above ground)		
Additional cable loss (dB/m)	0	(If antenna height differs)		

Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Cabe resaltar que, después de haber configurado la pestaña “Systems” es necesario regresar a la pestaña “Membership” modificar el tamaño de la altura de la antena (necesario para la repetidora dependiendo la altura requerida) darle la dirección a la antena entre Principal – Repetidora y viceversa. En la **Figura 111** y **Figura 112** se observa a detalle esta configuración.

Figura 111

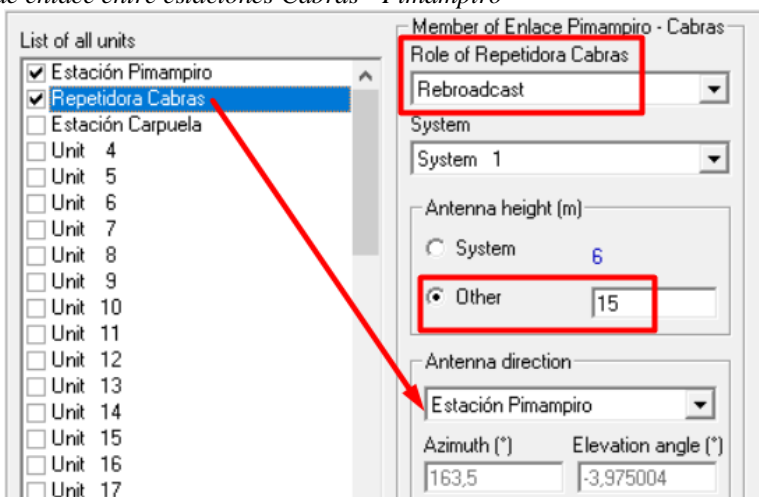
Parámetros de enlace entre estaciones Pimampiro - Cabras



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Figura 112

Parámetros de enlace entre estaciones Cabras - Pimampiro



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Al terminar esta parte de la configuración, sin aceptar los cambios realizados se procederá a configurar el otro enlace Cabras – Carpuela, realizando configuraciones similares a la primera etapa, por lo que no se indicarán dichos pasos, simplemente basarse en los datos teóricos ya antes establecidos en el capítulo 3.

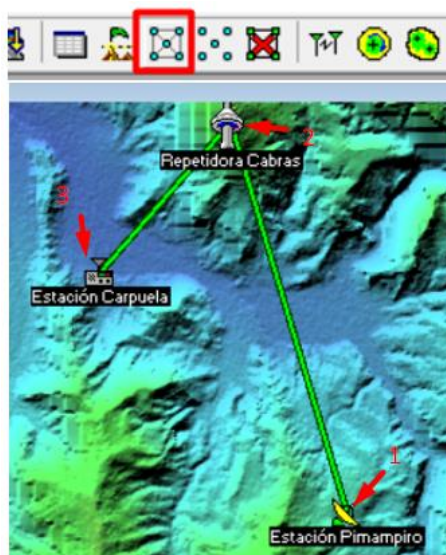
4.1.1.1. Resultados obtenidos en la simulación

Una forma de comprobar si los datos ingresados en el software son los correctos para el funcionamiento de la red es ir a la opción “Show networks” donde se puede observar si los enlaces han sido establecidos de manera correcta así como se ve en la **Figura 113**, en caso de no aparecer se recomienda revisar las configuraciones de “Unit properties” en la barra de herramientas y comprobar que los datos no se hayan modificado.

Aparentemente se observa que los enlaces son óptimos para la transmisión de señales microondas al tener una línea de color verde entre estaciones, en caso de no tener un enlace satisfactorio, la línea se tornaría de color rojo.

Figura 113

Radio Mobile – Show networks



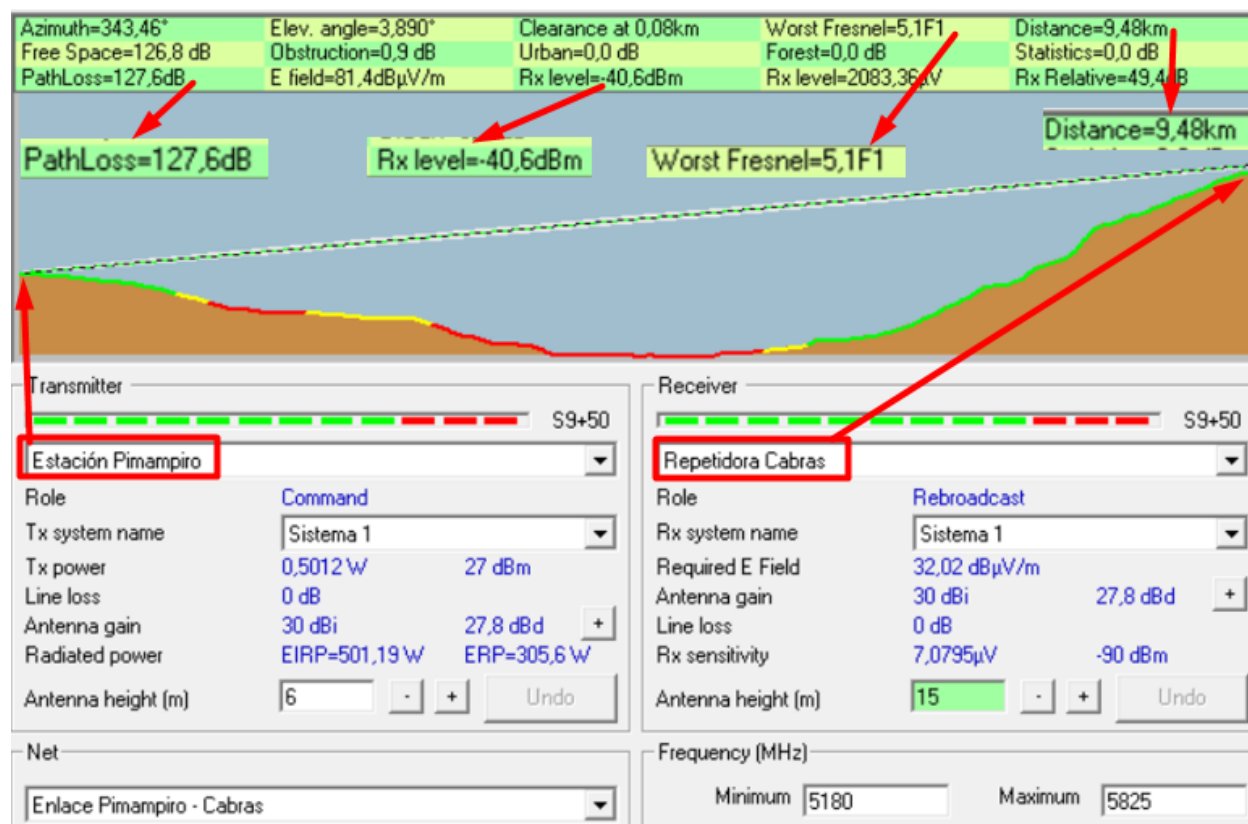
Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

A través de la opción “Radio Link” encontrada en la barra de herramientas se desplegará una ventana con el resultado visual de la simulación, donde se observa la línea de vista entre estaciones, así como también los resultados matemáticos. Los resultados son presentados en la **Figura 114** y **Figura 115** para ser analizados a continuación.

Resultados del enlace Pimampiro – Cabras

Figura 114

Resultados del radio enlace Pimampiro - Cabras en Radio Mobile



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

A través de esta imagen es posible recopilar algunos resultados, a través del gráfico del perfil de elevación se puede comprobar la línea de vista, la cual se encuentra totalmente despejada, incluso con poca distinción se observa el gráfico de la zona de Fresnel en color blanco, dicha zona aparentemente es diminutiva debido al valor de la frecuencia, a mayor

frecuencia, menor es el radio de la zona. En la zona superior se puede resaltar algunos datos importantes como la distancia entre estaciones de 9,48 Km, la pérdida en el espacio libre de 127,6 dB, cuenta con 5,1 veces el valor de la primera zona de Fresnel (5,1F1) disponible para este enlace, la potencia recibida en la antena de Cabras es de -40,6 dBm, un valor lo suficientemente aceptable al contar con una sensibilidad en el receptor de hasta -90 dBm. A esto se puede agregar que no hace falta sugerir aumentar la distancia de las torres ni la ubicación de las antenas para esta sección del enlace microondas.

Los resultados obtenidos han sido comparados con los obtenidos en el diseño teórico, las diferencias serán las siguientes presentadas en la **Tabla 39**.

Tabla 39

Comparación de resultados del radio enlace Pimampiro - Cabras

Resultados	Teórico	Simulación Radio Mobile
Distancia	9,33 Km	9,48 Km
Pérdida en el espacio libre	-127, 1 dB	-127,6 dB
Nivel de recepción	-40,1 dBm	-40,6 dBm

Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Tal y como se puede observar, existen diferencias de resultados entre ambas partes, tal vez no se consideró con exactitud la distancia entre las estaciones al no establecer concretamente el sitio exacto, así como tomar un valor entero para realizar los cálculos teóricos, ya que Radio Mobile calcula la distancia por medio de las ubicaciones de las estaciones, no tendrá necesidad de redondear resultados.

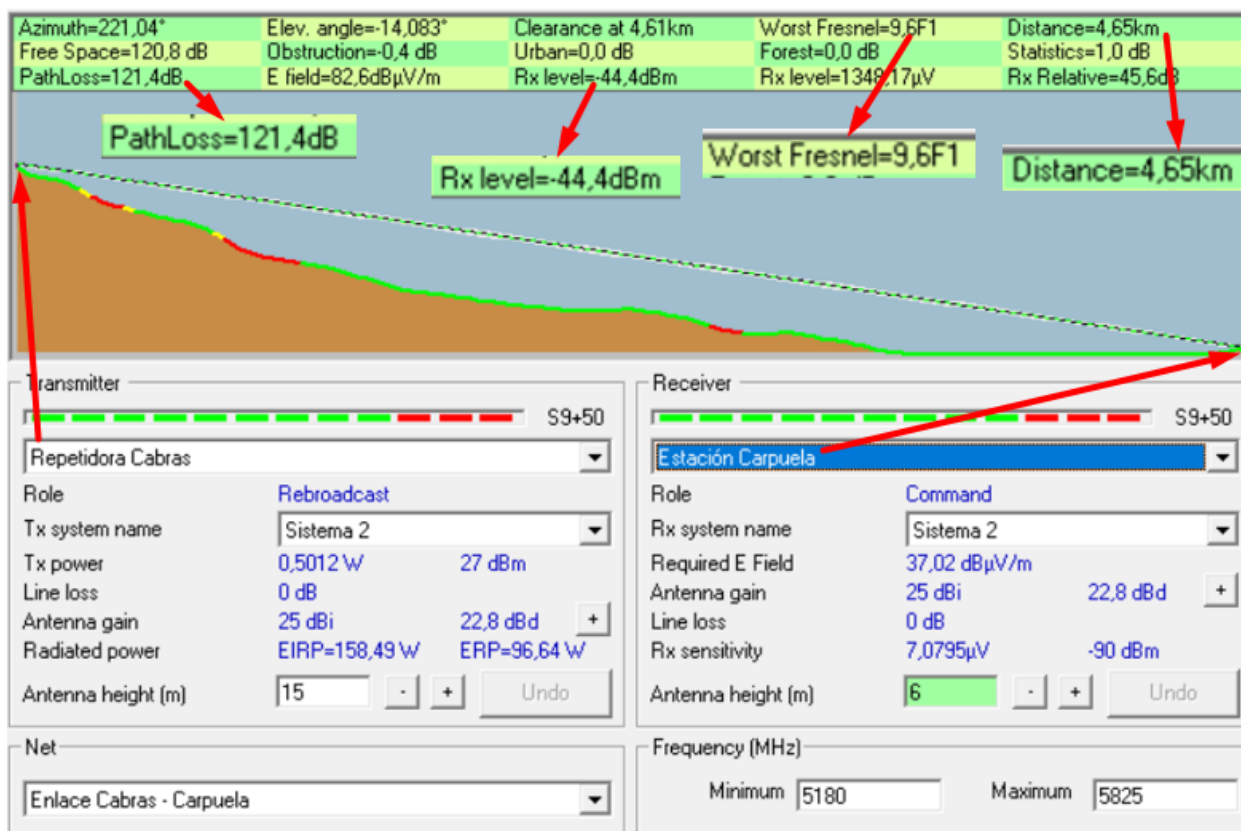
Otro factor importante que tomar en cuenta al comparar resultados de la pérdida en el espacio libre es entre muchas la fórmula que utiliza el programa para realizar los cálculos, así como también las consideraciones que implemente aparte de la atenuación por propagación, como obstáculos, interferencias, ruido, entre otros.

Por lo tanto, el nivel o potencia de recepción varía obviamente al existir una variación en el resultado de la pérdida en el espacio libre, siendo exactamente la diferencia entre FSL teórica y simulada la cantidad de potencia faltante del nivel de recepción teórico con respecto al valor simulado.

Resultados del enlace Cabras - Carpuela

Figura 115

Resultados del radio enlace Cabras - Carpuela en Radio Mobile



Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Por el otro tramo del radio enlace, se presentan resultados de la señal que parte de la antena de Cabras a la antena de Carpuela, obteniendo resultados como la distancia entre estaciones de 4,65 Km, la pérdida en el espacio libre de 121,4 dB, cuenta con 9,6 veces el valor

de la primera zona de Fresnel (9,6F1) disponible para este enlace, la potencia recibida en la antena de Cabras es de -44,4 dBm que, al igual que con las antenas del primer radioenlace, se cuenta con una sensibilidad en la recepción de -90 dBm, lo que significa que es más suficiente para recibir la potencia del transmisor. A esto se puede agregar que no hace falta sugerir aumentar la distancia de las torres ni la ubicación de las antenas para esta sección del enlace microondas.

Los resultados obtenidos han sido comparados con los obtenidos en el diseño teórico, las diferencias serán las siguientes presentadas en la **Tabla 40**.

Tabla 40

Comparación de resultados del radio enlace Cabras - Carpuela

Resultados	Teórico	Simulación Radio Mobile
Distancia	4,55 Km	4,65 Km
Pérdida en el espacio libre	-120,9 dB	-121,4 dB
Nivel de recepción	-43,9 dBm	-44,4 dBm

Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Tal y como se puede observar, existen diferencias de resultados entre ambas partes, tal vez no se consideró con exactitud la distancia entre las estaciones al no establecer concretamente el sitio exacto, así como tomar un valor entero para realizar los cálculos teóricos, ya que Radio Mobile calcula la distancia por medio de las ubicaciones de las estaciones, no tendrá necesidad de redondear resultados.

Otro factor importante que tomar en cuenta al comparar resultados de la pérdida en el espacio libre es entre muchas la fórmula que utiliza el programa para realizar los cálculos, así como también las consideraciones que implemente aparte de la atenuación por propagación, como obstáculos, interferencias, ruido, entre otros.

Por lo tanto, el nivel o potencia de recepción varía obviamente al existir una variación en el resultado de la pérdida en el espacio libre, siendo exactamente la diferencia entre FSL teórica y simulada la cantidad de potencia faltante del nivel de recepción teórico con respecto al valor simulado.

4.1.2. Simulación con Xirio Online

Xirio Online es una herramienta utilizada para realizar simulaciones enfocadas en la cobertura radioeléctrica en cualquier parte del mundo, tanto en entornos rurales como urbanos. Entre algunas de las ventajas de este programa es que es gratuito y no hace falta instalarlo en la computadora, tan sólo hace falta crear un usuario desde la página oficial de Xirio. Una vez creada la cuenta y haber ingresado a la pantalla principal se comenzará a realizar la simulación.

La simulación parte con la creación de un nuevo estudio, a través del ícono encontrado en la parte superior izquierda de la barra de herramientas. Aparecerá una nueva ventana del navegador donde se seleccionará el tipo de estudio, para el presente trabajo se necesita de un enlace cuya categoría es Banda ancha inalámbrica, subcategoría Wi-Fi y el servicio es 802.11ac. Una vez seleccionado todas las opciones se procede a dar clic en “Aceptar” tal y como se indica en la **Figura 116** para pasar a la siguiente parte.

Figura 116

Creación de un nuevo estudio en Xirio Online

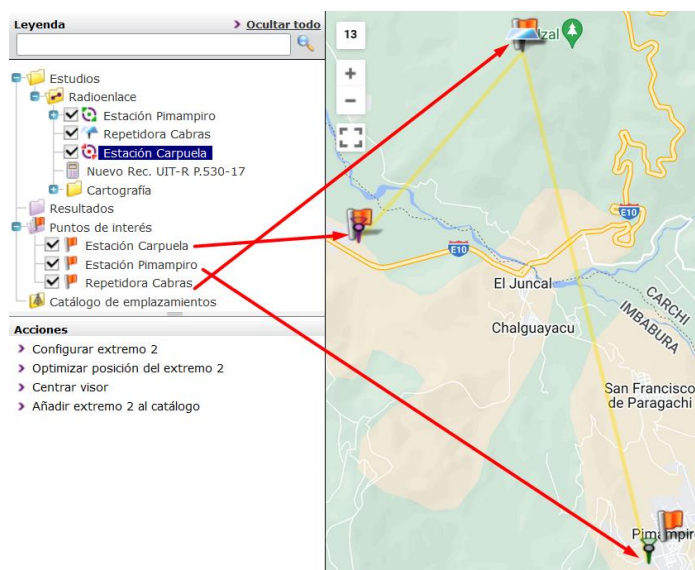


Autor: (Xirio Online, 2023) Modificado: Autor

Como se ha visto en otros software de simulación, es necesario indicar las posiciones donde se ubican las estaciones y la repetidora de acuerdo con los parámetros establecidos en el capítulo anterior. Por lo cual según la **Figura 117** se visualizan las posiciones de las estaciones.

Figura 117

Creación de las estaciones en Xirio Online



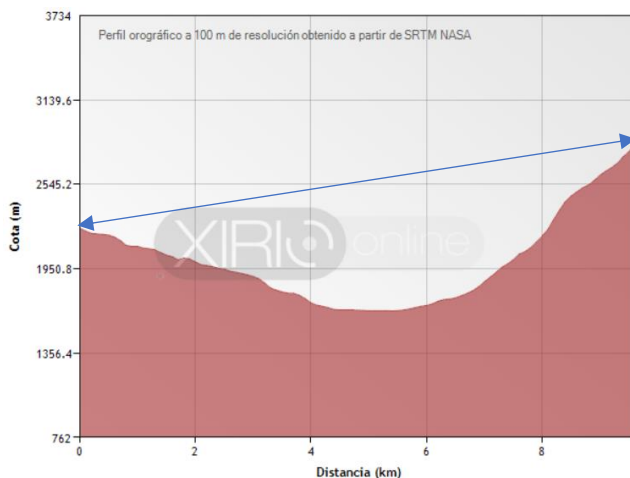
Autor: (Xirio Online, 2023) Modificado: Autor

4.1.2.1. Resultados obtenidos en la simulación

En cuanto a los resultados generados por este software simplemente se enfocan en la línea de vista generada por las estaciones, por lo que, como resultado se indica si existe alguna interferencia dentro de la red tal como se indica en la **Figura 118** y **Figura 119**.

Figura 118

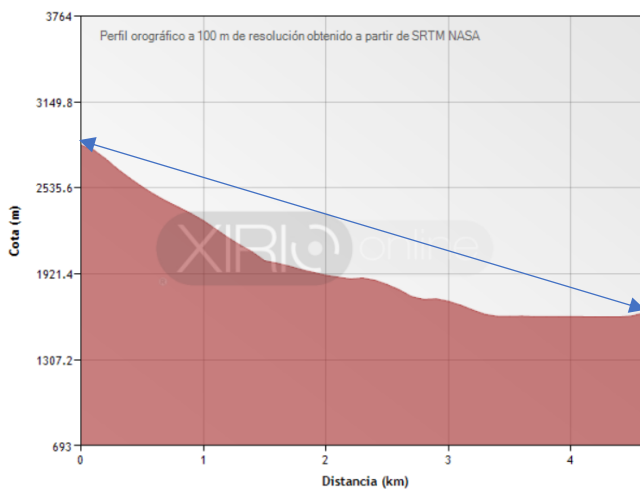
Línea de vista del enlace Pimampiro – Cabras en Xirio Online



Autor: (Xirio Online, 2023) Modificado: Autor

Figura 119

Línea de vista del enlace Cabras – Carpuela en Xirio Online

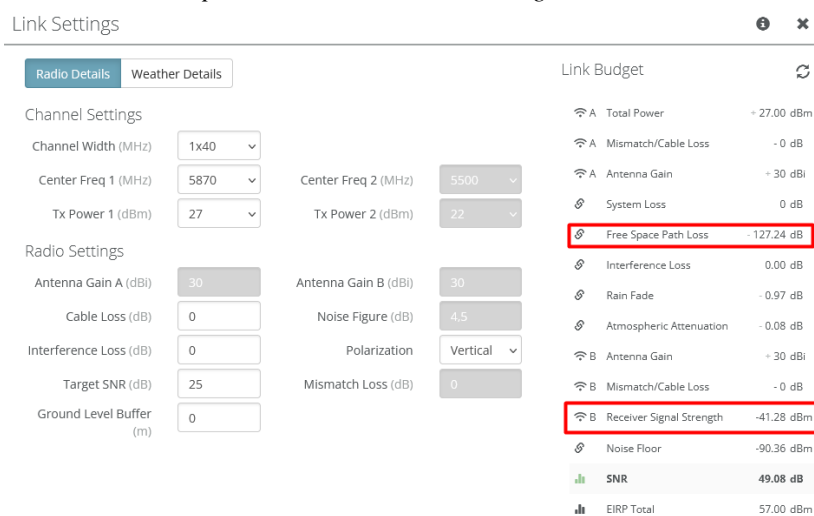


Autor: (Xirio Online, 2023) Modificado: Autor

Durante la investigación se pudo encontrar un simulador diseñado por el mismo fabricante de las antenas que se están utilizando en el radioenlace, es decir Mimosa Design, el cual es un software online que permite calcular los enlaces microondas donde, a diferencia de Xirio Online, aquí sí se pueden visualizar en la **Figura 120** y la **Figura 121** los resultados obtenidos.

Figura 120

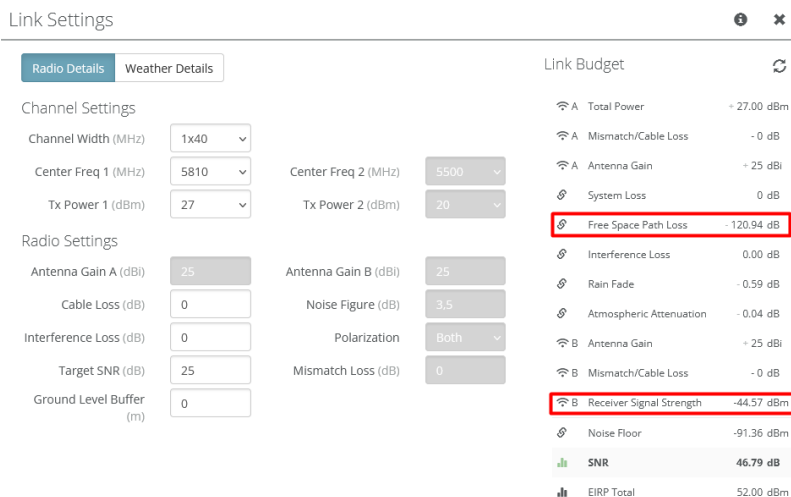
Resultados del Enlace Pimampiro – Cabras en Mimosa Design



Autor: (Mimosa Design, 2023) Modificado: Autor

Figura 121

Resultados del Enlace Cabras – Carpuela en Mimosa Design



Autor: (Mimosa Design, 2023) Modificado: Autor

Por lo tanto, para poder comparar entre los cálculos teóricos y la simulación en Radio Mobile se utilizarán los datos generados en Mimoso Design. La comparación de los resultados será vista en la **Tabla 41** para el enlace Pimampiro – Cabras y la **Tabla 42** para el enlace Cabras – Carpuela.

Tabla 41

Comparación de resultados del radio enlace Pimampiro - Cabras

Resultados	Distancia	Pérdida en el espacio libre	Nivel de recepción
Análisis teórico	9,33 Km	-127,1 dB	-40.1 dBm
Simulación Radio Mobile	9,48 Km	-127,6 dB	-40,6 dBm
Simulación Mimoso Design	9,35 Km	-127,24 dB	-41,28 dBm

Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Tabla 42

Comparación de resultados del radio enlace Cabras - Carpuela

Resultados	Distancia	Pérdida en el espacio libre	Nivel de recepción
Análisis teórico	4,55 Km	-120,9 dB	-43,9 dBm
Simulación Radio Mobile	4,65 Km	-121,4 dB	-44,4 dBm
Simulación Mimoso Design	4,57 Km	-120,94 dB	-44,57 dBm

Autor: (Radio Mobile, 2023) Modificado: Autor

Se puede tomar como conclusión que los resultados obtenidos coinciden en los 3 escenarios, ya que se toman en cuenta los mismos parámetros a excepción de la distancia, que en el caso de las simulaciones se designa de acuerdo a las coordenadas establecidas, tal vez llegue a variar un poco el resultado en la práctica real al no haber tomado en cuenta los parámetros del

medio ambiente en tiempo real donde se efectúa el radio enlace, sin embargo, es un resultado positivo que puede tomarse en cuenta al momento de desarrollar este presente proyecto.

4.2. SIMULACIÓN DE LA RED FTTH GPON

Como ya se habló en la introducción del cuarto capítulo, se utilizará Optisystem para realizar una simulación de la red de fibra óptica con todos los parámetros requeridos en el diseño de esta, tomando en cuenta la ruta más corta y larga que realizará la señal de la fibra óptica.

4.2.1. Elementos utilizados en la simulación de la red FTTH GPON

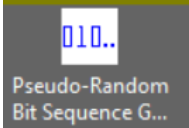
Para realizar la simulación en Optisystem es necesario dividir las etapas que conlleva realizar el enlace de fibra óptica a través de la ODN encontrada anteriormente en el diagrama de la **Figura 94** de la sección 3.4.4.2.


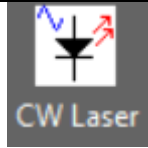



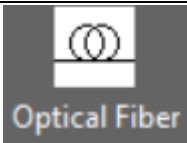

4.2.1.1. Etapa de elementos activos

Dentro de esta sección se hablarán acerca de los elementos activos que se encuentran en los extremos de la red. Para simular una OLT y todas las funciones que realiza este elemento activo. Es necesario incluir desde la librería de componentes los siguientes elementos mediante la **Tabla 43**.

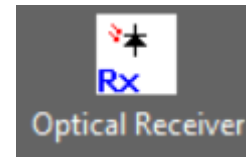
Tabla 43

Elementos usados en la simulación de Optisystem

Elemento	Descripción	Valores	Gráfico
Generador aleatorio de bits	Genera secuencias de bits que se asemejan a secuencias aleatorias para simular datos	0 y 1	

	de manera controlada y repetible.		
Generador de pulsos NRZ	Generar pulsos NRZ (Non Return to Zero) generados con diferentes parámetros y formas de onda para generar niveles de voltaje entre 0 y 1.	Amplitud: 1	
CW Láser	(Continuos Wave Laser) simula un láser que produce una señal óptica continua.	Frecuencia: 1550 nm Potencia: 2,5 dBm	
Modulador Mach Zehnder	Modular la amplitud de la señal óptica dividiendo en dos caminos por un divisor de haz, y luego se vuelven a combinar en un segundo divisor de haz.	Radio de extinción: 30 dB	
Amplificador óptico	Aumenta la potencia de la señal óptica y compensa las pérdidas de señal debido a la atenuación de la señal propagada a través de la fibra óptica.	Ganancia: 20 dB	
Conectores, Acopladores y Fusiones	Agrega valores de atenuación en conectores, acopladores y fusiones.	C_*: 0,2 dB A_*: 0,1 dB F_*: 0,1 dB	
Fibra óptica	representa un cable de fibra óptica, ya sea ADSS o Drop.	Frecuencia: 1550 nm Atenuación: 0,22 dB/Km	
Splitter 1x8	Divide la señal óptica en 8	Atenuación: 10,3 dB	

Receptor óptico Recibir y detecta señales ópticas que se transmiten a través de la fibra óptica en un sistema de comunicación.



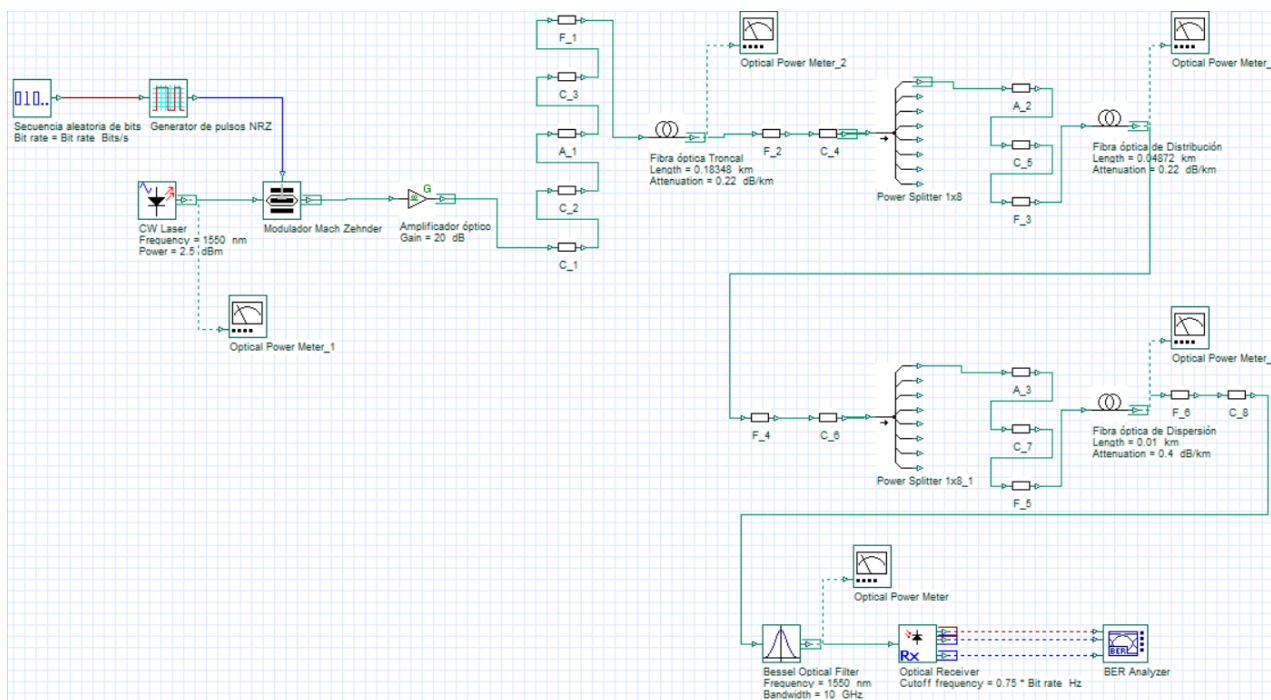
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

4.2.2. Simulación de la ruta más corta

La simulación de la red FTTH GPON vista en la **Figura 122** se conforma por 5 etapas divididas en: OLT, Red Troncal, Red de Distribución, Red de Dispersión, ONU.

Figura 122

Topología de la simulación de la red FTTH GPON en Optisystem



Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

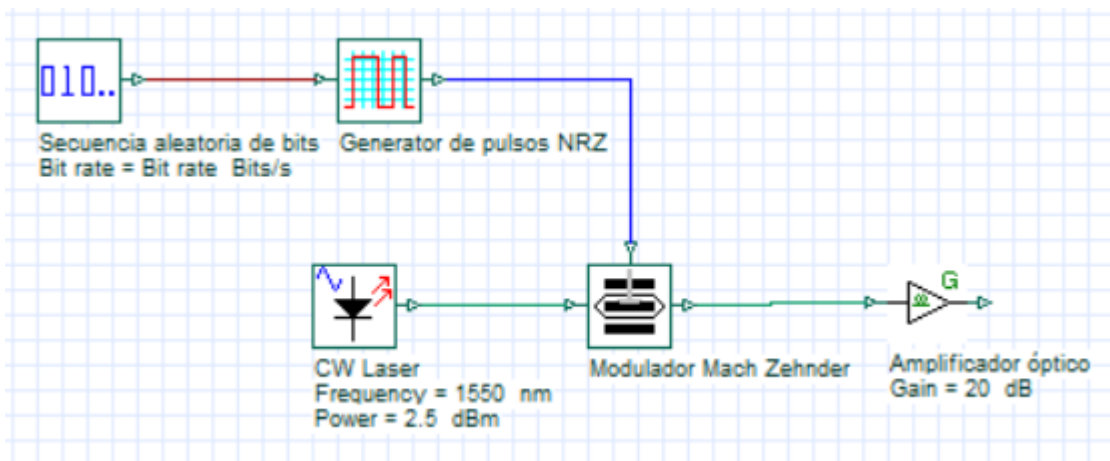
OLT

La simulación comienza con el armado de los componentes que conformarán la OLT, al ser un elemento activo se utilizará un amplificador óptico que hace la función de amplificador

EDFA (Amplificador de fibra dopada de erbio). La **Figura 123** muestra cómo está compuesta la OLT.

Figura 123

Simulación de la OLT



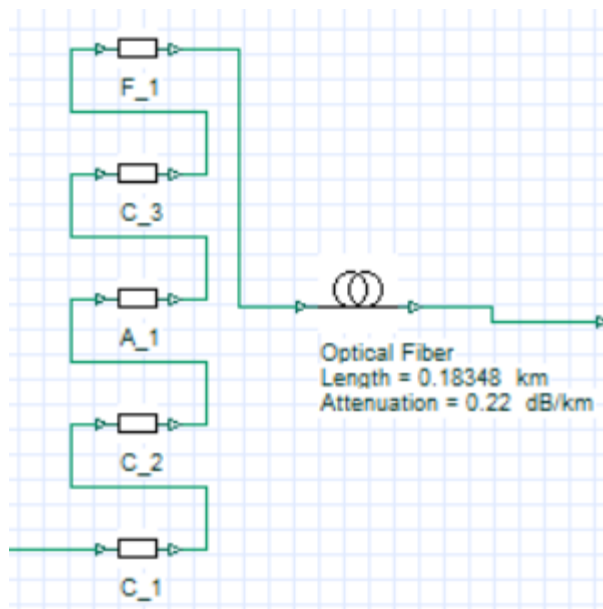
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Red de fibra troncal

A partir del amplificador óptico, comienza la etapa de la red troncal conformada por conectores, acopladores y fusiones y el cable de fibra óptica de 183,48 metros, en la **Figura 124** se muestra la red de distribución simulada.

Figura 124

Simulación de la red troncal



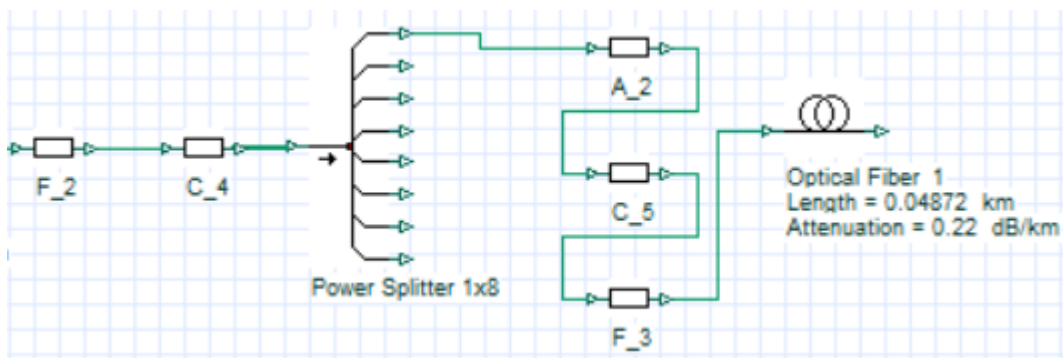
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Red de fibra de distribución

Continúa la red de dispersión que está conformada por los elementos ya antes vistos, similar a la anterior figura, aumentando solamente un Splitter 1x8. La **Figura 125** muestra la simulación de la red de distribución.

Figura 125

Simulación de la red de distribución



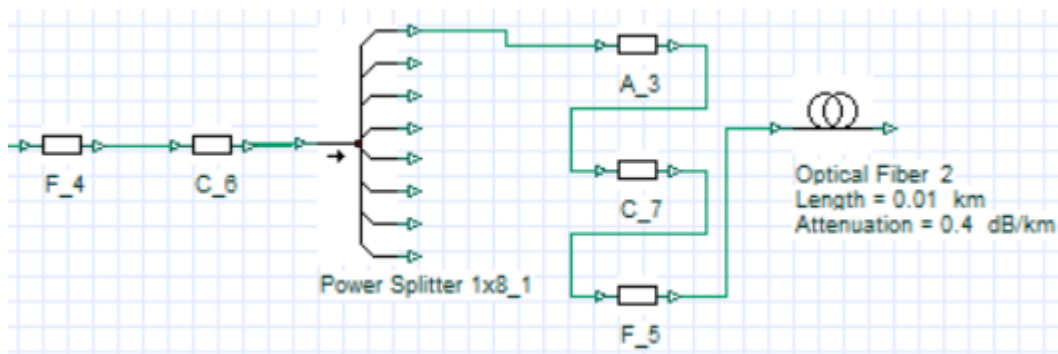
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Red de fibra de dispersión

Luego, comienza la parte de la red de dispersión desde la caja NAP hasta la ONU, tomando en cuenta que la misma parte de la red de distribución comprende la red de dispersión vista en la **Figura 126**.

Figura 126

Simulación de la red de dispersión



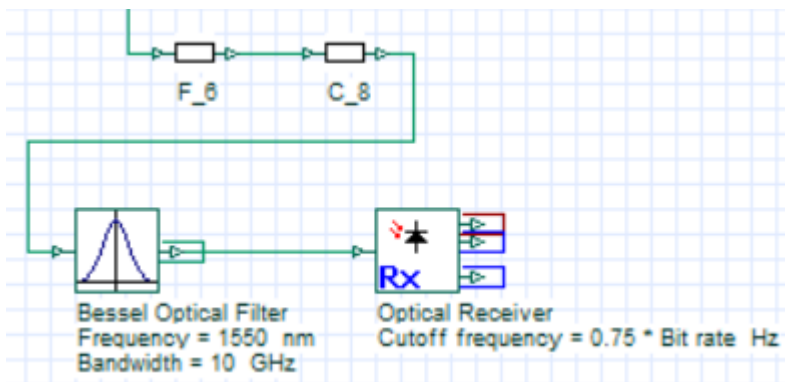
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

ONU

Para llegar a la última milla se necesita tener un receptor óptico que funciona como ONU, también se agregó un filtro digital antes del receptor. La **Figura 127** muestra la última etapa de la red de fibra óptica.

Figura 127

Simulación de la ONU



Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

4.2.2.1. Resultados obtenidos en la simulación

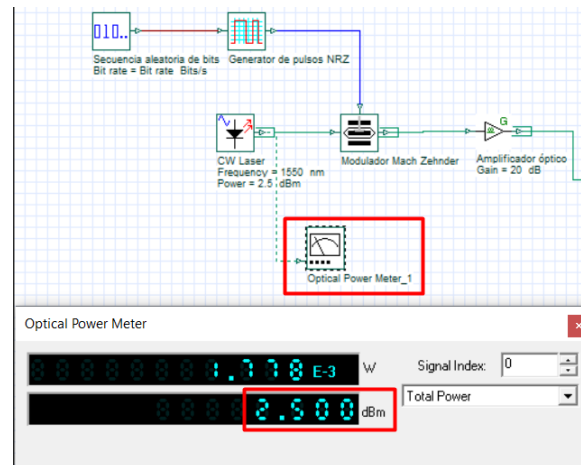
La simulación se la realiza después de compilar y calcular todos los parámetros que forman parte de la red de fibra. A través de equipos de medición como los Optical Power Meter, Visualizador óptico en el dominio del tiempo, analizador de espectro óptico y un analizador de BER colocados en las salidas de los elementos ópticos se observarán las múltiples atenuaciones de señal que esta recibe.

Potencia medida en la OLT

En esta primera parte de la medición con el Optical Power Meter (OPM) quizás no sea muy necesario en vista de que la señal será la misma generada por la OLT. La **Figura 128** ilustra la potencia generada por la OLT.

Figura 128

Potencia medida en la OLT



Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

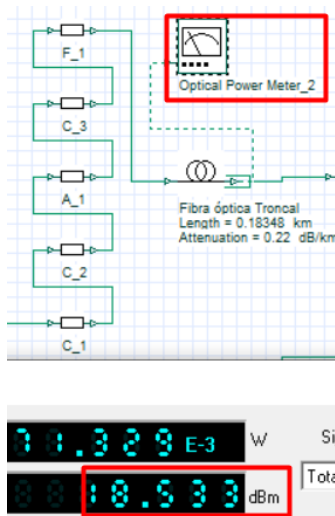
Potencia medida en la red troncal

La siguiente etapa será medida al final de la fibra troncal después de pasar por varios atenuadores, así como el amplificador colocado después del modulador Mach Zehnder. La **Figura 129** ilustra la potencia generada al final de la red troncal. Como resultado a causa de la

ganancia aumentada debido al amplificador óptico colocado para evitar que la señal de la OLT se atenúe.

Figura 129

Potencia medida al final de la red troncal



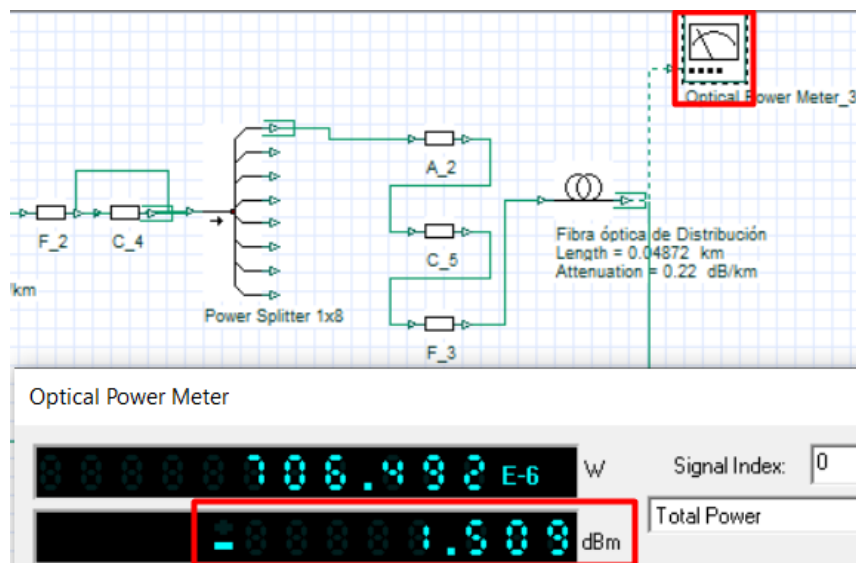
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la red de distribución

Al final del cable de fibra de distribución se colocó un Optical Power Meter para medir la atenuación de la red troncal observando que las pérdidas generadas por el Splitter 1x8 hicieron que el resultado parcial pase a -1,509 dBm. En la **Figura 130** se muestra el resultado.

Figura 130

Potencia medida al final de la red de distribución



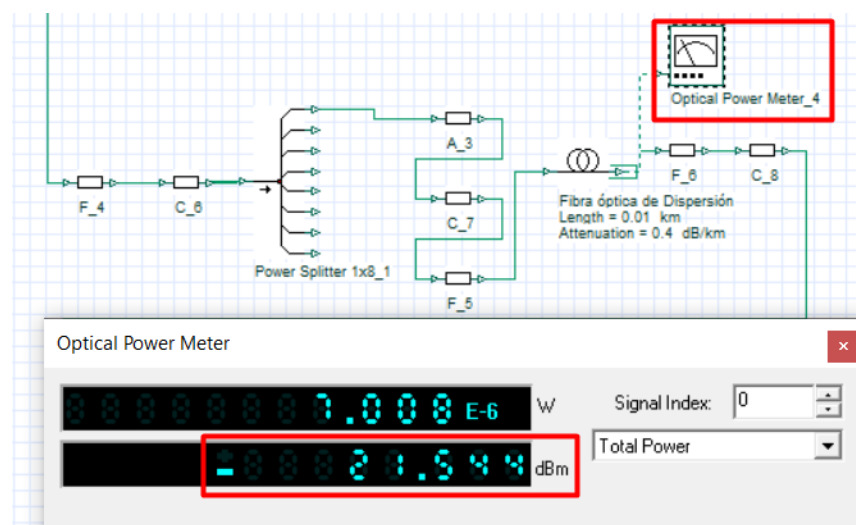
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la red de dispersión

Para esta sección de la red, siguen aumentando las pérdidas generadas por los conectores y el Splitter de 2do nivel. La **Figura 131** indica los resultados de la red de dispersión.

Figura 131

Potencia medida al final de la red de dispersión



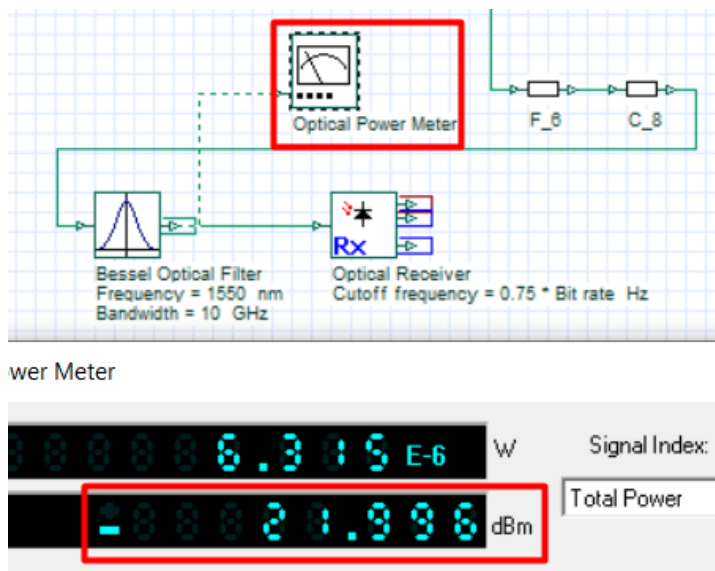
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la ONT

La última etapa de la red consta de un empalme por fusión, un conector, un filtro digital hasta llegar la señal al receptor óptico como ONU. La **Figura 132** indica los resultados de la red de dispersión siendo -21,99 dBm el resultado final del despliegue de la red con la ruta más corta.

Figura 132

Potencia medida al final de la red de dispersión



Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

El resultado obtenido de la potencia de recepción que llega a la ONU del usuario más cercano ha sido comparado con el obtenido en el diseño teórico, la diferencia de resultados se presenta en la **Tabla 44**.

Tabla 44

Comparación de los resultados de la ruta más corta

Resultados	Teórico	Simulación Optisystem
Potencia recibida	-21,66 dBm	-22 dBm

Autor: Creación propia

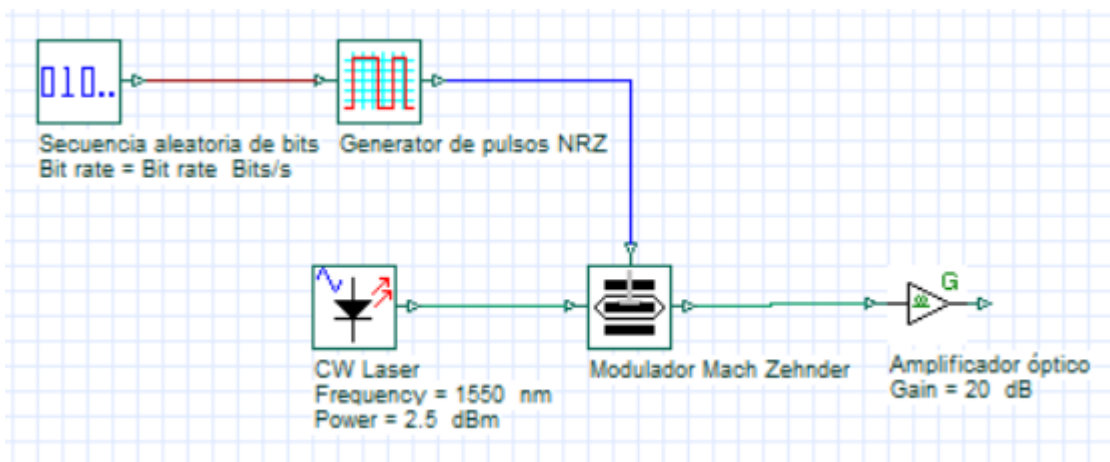
Mediante esta comparativa se puede comprobar que no existe casi ninguna diferencia de resultados, en vista de que son sólo por décimas que varían entre estos, por lo que no afecta en la transmisión de la señal FTTH al estar en el rango de saturación y sensibilidad.

4.2.3. Simulación de la ruta más larga

Para comparar los resultados de la simulación con los resultados generados en el diseño se simulará la red desde la OLT hasta el usuario más lejano, los valores de la OLT serán los mismos al ser la misma configuración. La **Figura 133** muestra la composición de la OLT.

Figura 133

Simulación de la OLT

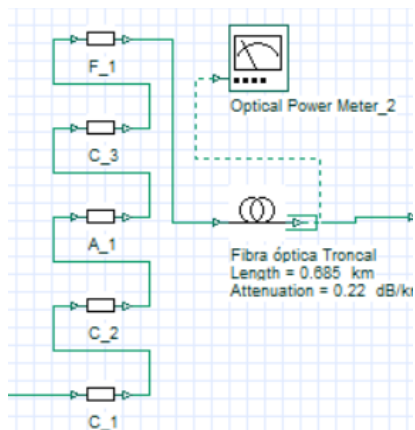


Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Los acopladores, empalmes por fusión y conectores harán disminuir la potencia inicial, resultando en la **Figura 134** donde se muestra la red de distribución simulada.

Figura 134

Simulación de la red troncal

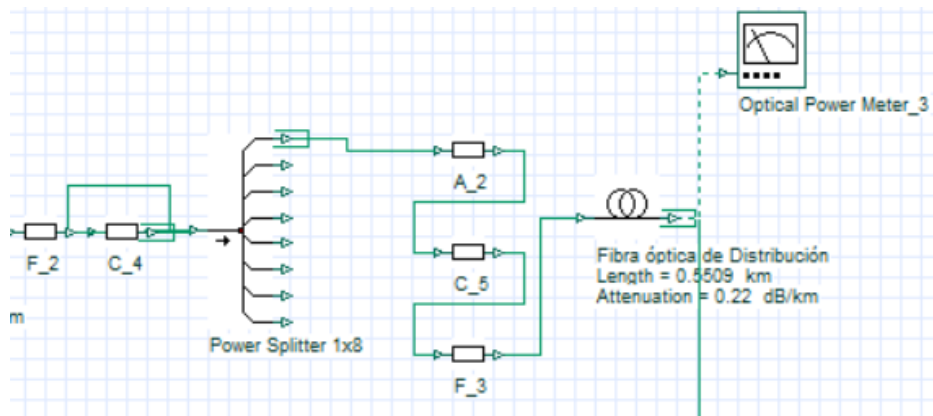


Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Al pasar por la red de dispersión se incluye un Splitter que genera mayor atenuación que los conectores. La **Figura 135** muestra la simulación de la red de distribución.

Figura 135

Simulación de la red de distribución

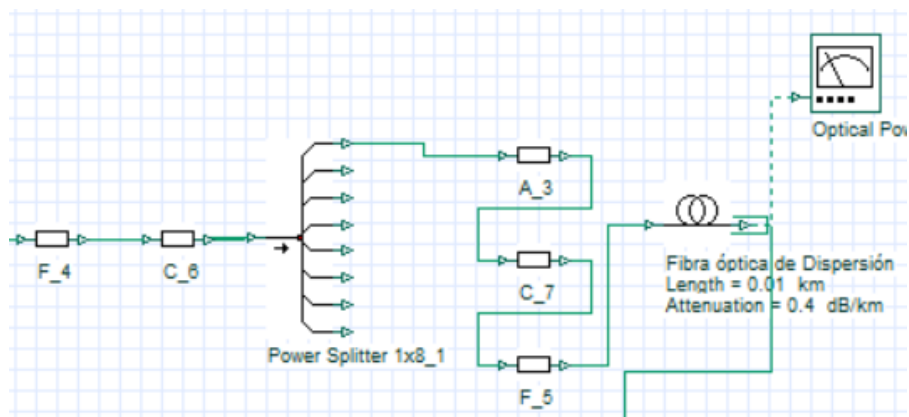


Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Hay que pasar por la red de dispersión, tomando en cuenta que la misma parte de la red de distribución comprende la red de dispersión vista en la **Figura 136**.

Figura 136

Simulación de la red de dispersión

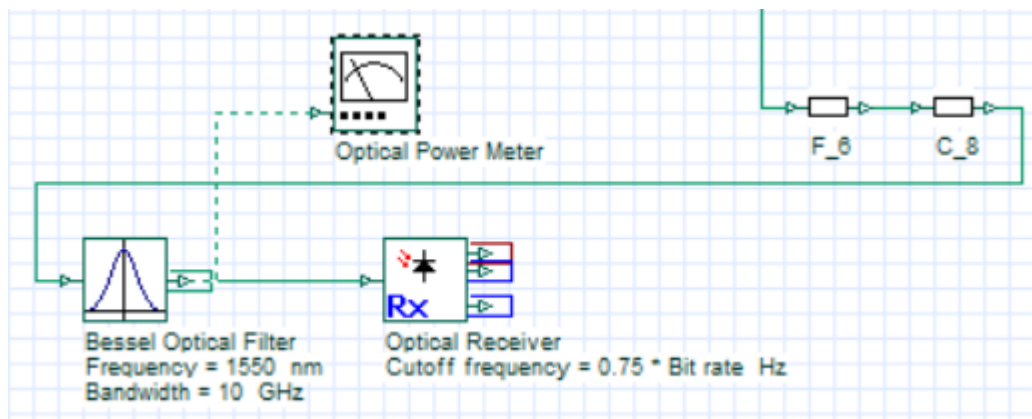


Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Finalmente, la red finaliza en la ONU del usuario más lejano junto con un conector y una fusión se une con la fibra Drop. La **Figura 137** muestra la última etapa de la red de fibra óptica.

Figura 137

Simulación de la ONU

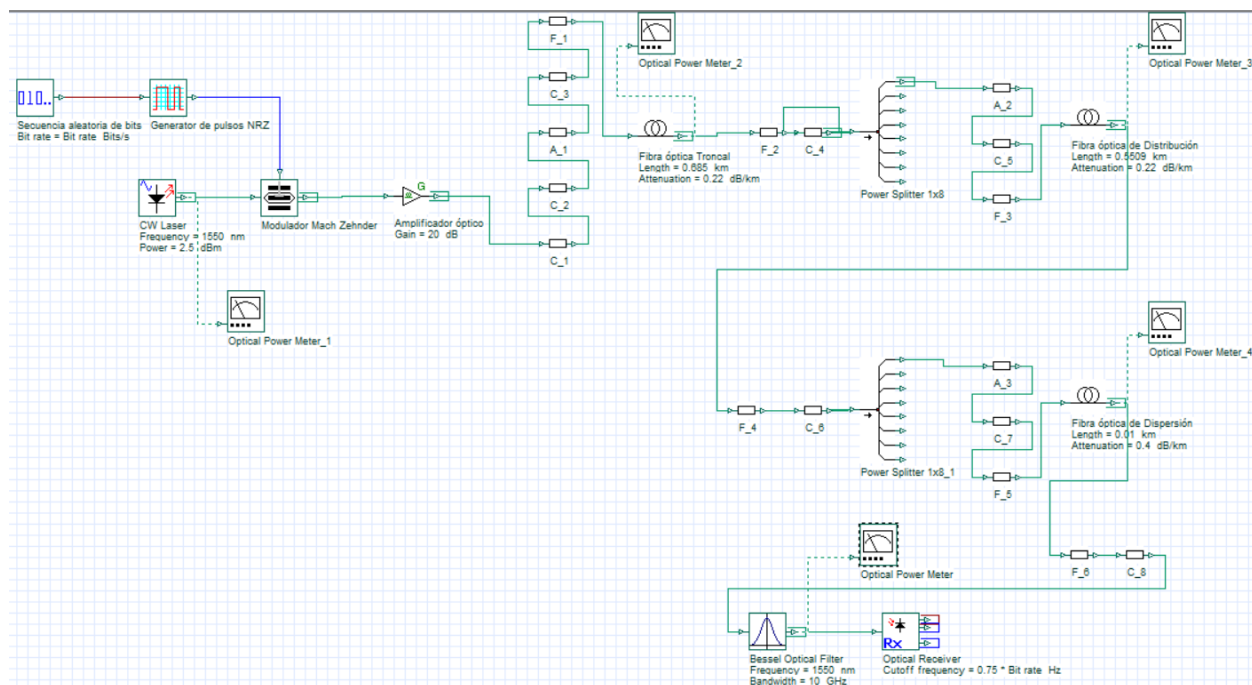


Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Aunque la red es la misma presentada en la **Figura 122**, en la **Figura 138** se indica la red que servirá como simulación donde han cambiado las distancias del cable.

Figura 138

Topología de la simulación de la red FTTH GPON en Optisystem



Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

4.2.3.1. Resultados obtenidos en la simulación

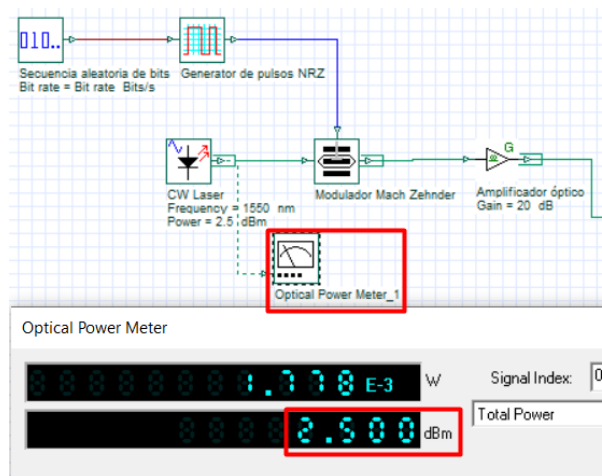
La simulación se la realiza después de compilar y calcular todos los parámetros que forman parte de la red de fibra. A través de equipos de medición como los Optical Power Meter, Visualizador óptico en el dominio del tiempo, analizador de espectro óptico y un analizador de BER colocados en las salidas de los elementos ópticos se observarán las múltiples atenuaciones de señal que esta recibe.

Potencia medida en la OLT

En esta primera parte de la medición con el Optical Power Meter (OPM) quizás no sea muy necesario en vista de que la señal será la misma generada por la OLT. La **Figura 139** ilustra la potencia generada por la OLT.

Figura 139

Potencia medida en la OLT



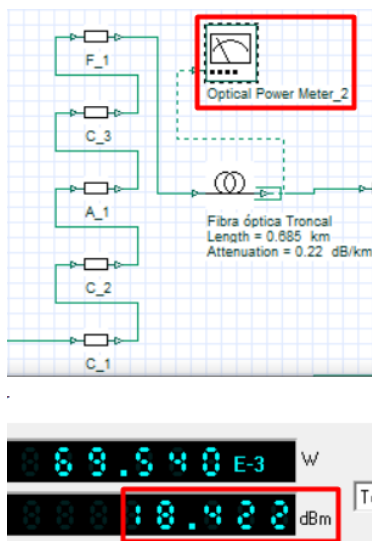
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la red troncal

La siguiente etapa será medida al final de la fibra troncal después de pasar por varios atenuadores, así como el amplificador colocado después del modulador Mach Zehnder. La **Figura 140** ilustra la potencia generada al final de la red troncal. Como resultado a causa de la ganancia aumentada debido al amplificador óptico colocado para evitar que la señal de la OLT se atenúe.

Figura 140

Potencia medida al final de la red troncal



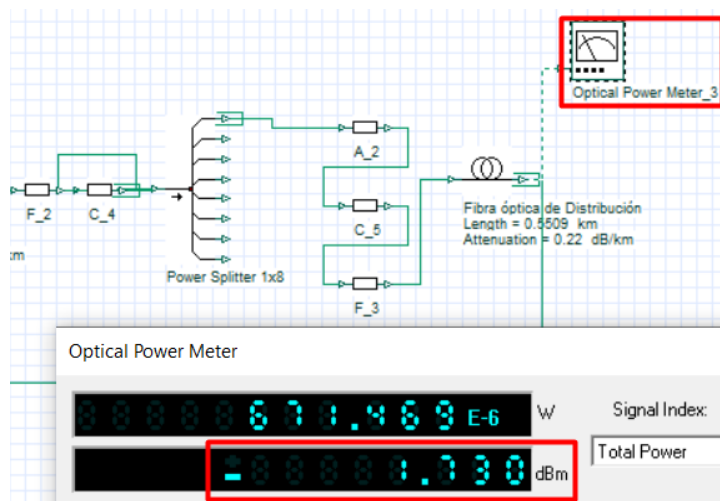
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la red de distribución

Al final del cable de fibra de distribución se colocó un Optical Power Meter para medir la atenuación de la red troncal observando que las pérdidas generadas por el Splitter 1x8 hicieron que el resultado parcial pase a -1,509 dBm. En la **Figura 141** se muestra el resultado.

Figura 141

Potencia medida al final de la red de distribución



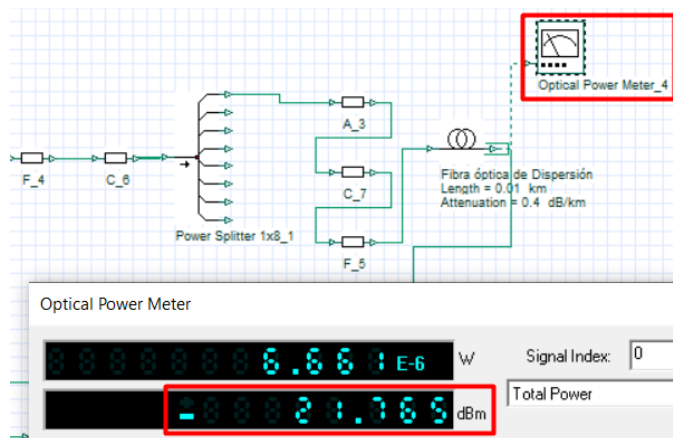
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la red de dispersión

Para esta sección de la red, siguen aumentando las pérdidas generadas por los conectores y el Splitter de 2do nivel. La **Figura 142** indica los resultados de la red de dispersión.

Figura 142

Potencia medida al final de la red de dispersión



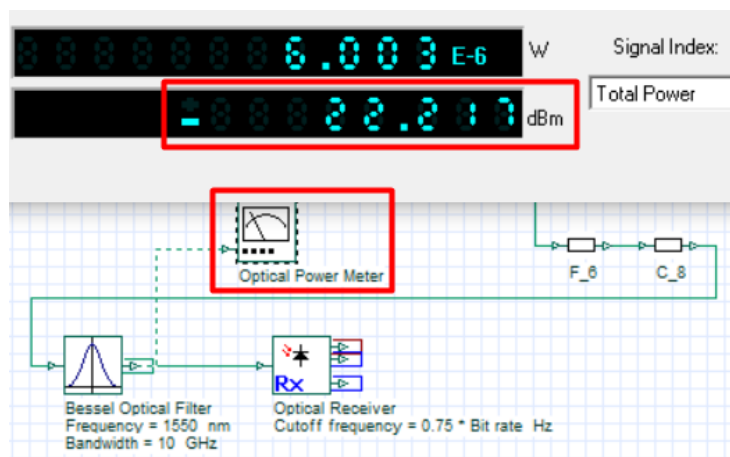
Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

Potencia medida en la ONT

La última etapa de la red consta de un empalme por fusión, un conector, un filtro digital hasta llegar la señal al receptor óptico como ONU. La **Figura 143** indica los resultados de la red de dispersión siendo -22.22 dBm el resultado final del despliegue de la red con la ruta más corta.

Figura 143

Potencia medida al final de la red de dispersión



Autor: (Optisystem, 2008), Modificado: Autor

El resultado obtenido de la potencia de recepción que llega a la ONU del usuario más cercano ha sido comparado con el obtenido en el diseño teórico, la diferencia de resultados se presenta en la **Tabla 45**.

Tabla 45*Comparación de los resultados de la ruta más corta*

Resultados	Teórico	Simulación Optisystem
Potencia recibida	-21,91 dBm	-22,22 dBm

*Autor: Creación propia***4.2.4. Conclusión de los resultados del diseño y simulación de la red FTTH GPON**

En conclusión, al igual que en la ruta más cercana, se realizó una comparativa entre el resultado teórico y la simulación hecha en Optisystem donde se comprobó que no existe diferencia relevante en los resultados, en vista de que son sólo por décimas que varían entre estos, por lo que no afecta en la transmisión de la señal FTTH al estar en el rango de saturación y sensibilidad.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza un resumen los resultados obtenidos en los capítulos III y IV y utilizarlos como punto de partida para realizar un análisis de la factibilidad económica basado en el desarrollo del presente proyecto, tomando en cuenta todos los ingresos y egresos necesarios para el despliegue de la red híbrida, tanto para la sección del enlace microondas como para la sección de red de fibra óptica con tecnología GPON. Se tomará en cuenta además un estimado de la recuperación económica pronosticada para alrededor de 3 años con un número de clientes inicial del 50% (100 clientes) del total establecido en un inicio (200 clientes) y una tasa de crecimiento del 36% anual (+3 clientes al mes). Además se analizará el proyecto mediante 4 herramientas utilizadas en finanzas que ayudarán a evaluar y justificar la inversión requerida, con el fin de garantizar una rentabilidad donde los beneficios esperados superen a los costos establecidos.

5.1. Resultados del diseño y simulación de la red inalámbrica

Gracias al diseño y la simulación dentro de la red inalámbrica punto a punto realizados en las secciones 3.3.5 y 4.1 respectivamente, se pudo comprobar que existe una tasa de éxito muy alta para poder transmitir la señal de internet vía microondas desde el nodo ubicado en Pimampiro hasta el nodo receptor de Carpuela. Sin embargo, la posibilidad de un enlace directo entre ambas estaciones fue descartado al detectar obstáculos dentro de la línea de vista entre los nodos, por lo que, para poder tener éxito en la transmisión se optó por agregar una estación repetidora en el cerro Cabras que permitió retransmitir la señal enviada por la estación de

Pimampiro hacia la estación de Carpuela, logrando despejar los obstáculos que se presentaban en una transmisión directa.

Para el envío de la señal se escogieron antenas de la marca Mimosa, serie C5c para el primer enlace y C5x para el segundo enlace. Estas antenas son óptimas para este tipo de redes microondas punto a punto al ser dispositivos de alta velocidad, alta ganancia y largo alcance, además de soportar condiciones climáticas adversas y complejas condiciones de trabajo. Durante el estudio de estas antenas, salvo por un detalle, el resto solo fueron beneficios por parte de estas, siendo su costo su principal problema y que no fue tomado con tanta seriedad al necesitar solamente un par por serie, lo cual no representa un gasto significativo si se lo compara con el precio que costaría desplegar fibra óptica desde Pimampiro a Carpuela.

Finalmente, con los resultados obtenidos se pudo concluir que los dos enlaces microondas cuentan con una calidad adecuada en la transmisión, al ambos contar con una potencia recibida en los receptores mucho mayor a la que la antena puede receptor. De igual forma, el margen de desvanecimiento con los que cuentan las antenas receptoras son lo suficientemente altos para tolerar una cantidad significativa de pérdidas en la señal sin afectar el funcionamiento de estas.

Por lo tanto, los resultados tanto del diseño como la simulación demuestran que el enlace microondas es capaz de proporcionar un envío de señal confiable y estable para poder llegar a la siguiente etapa del proyecto, que consiste en brindar internet a través de una red FTTH GPON.

5.2. Resultados del diseño y simulación de la red FTTH GPON

Prosiguiendo con la segunda etapa de la red híbrida y mediante los resultados obtenidos en la sección 3.3.4 y 4.2 del diseño y simulación de la red FTTH GPON respectivamente, se

pudo comprobar la eficacia en la transmisión del servicio de internet mediante la red de fibra óptica siguiendo todas las recomendaciones de las normativas involucradas para el despliegue de este tipo de redes.

Se tomaron como puntos de estudio a los posibles usuarios cercano y lejano ya que mediante estos se comprobaron la saturación y la sensibilidad en la potencia recibida por los equipos ONU de los clientes. Parámetros importantes si se considera que el usuario más cercano es propenso a recibir un nivel de potencia superior al que soporta la ONU, provocando saturación y posiblemente daños en el equipo; de igual manera, se consideró por el lado del usuario más lejano que la potencia recibida sea lo suficientemente alta para ser detectada por la ONU de acuerdo con el nivel de sensibilidad de ésta. Por lo tanto, la señal enviada por la OLT fue satisfactoria al estar dentro del rango de sensibilidad y saturación de la ONU, el cual es de -28 a -8 dBm.

Otro parámetro que se tomó en cuenta como resultado es la disponibilidad de usuarios dentro de la red FTTH GPON, sin embargo no hubo de que preocuparse ya que dicha tecnología puede albergar a un máximo de 128 usuarios por puerto, es decir que por cada hilo de la fibra troncal es posible repartir la señal a 128 clientes.

Todos estos puntos de vista y resultados tomados tanto del diseño como la simulación demuestran que el enlace FTTH es capaz de brindar una señal confiable y estable con velocidades de transmisión mayores a los 60 Mbps con compartición de 2:1 y precios que vayan desde los 20 dólares para poder cubrir la comunidad de Carpuela.

5.3. Análisis financiero de la red híbrida

El diseño de la red híbrida (Inalámbrica – FTTH GPON) se considera un proyecto de inversión de alto riesgo del cual se espera obtener una rentabilidad positiva pasado un determinado periodo de tiempo. Dicha inversión se compone de un desembolso inicial así como una serie de flujos de caja que determinan la factibilidad del negocio.

El primer paso para conocer la factibilidad del proyecto es detallar todos los ingresos estimados durante el tiempo que tome recuperar la inversión inicial y egresos efectuados durante el periodo de actividad del servicio que brindará la red híbrida hasta confirmar la rentabilidad de esta.

5.3.1. Egresos presupuestados en los equipos de la red híbrida

La **Tabla 46** presenta todos los elementos y equipos utilizados en la red híbrida junto con el precio, cantidad y total resultante. Esto es un valor estimado en vista de que la lista de precios provista por el gerente de la empresa REDESTEL ya cuentan con IVA y tampoco se estimarán los descuentos que puedan establecerse por parte de los proveedores al adquirir gran parte de los materiales al por mayor.

Tabla 46

Egresos de los equipos y elementos utilizados en la red híbrida

Elemento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
RADIO ENLACE			
Switch MikroTik CRS326-24G-2S	1	239	239
Switch TP-Link TL-SG2428P	1	279	279
Radio Mimosa C5c	2	215,98	431,96

Adaptador de antena TwistPort TP-ADAP-C5c	2	40	80
Antena parabólica UltraDish TP 400	2	156	312
Combo radio enlace Mimosa C5x (2 radios, 2 antenas)	1	556,45	556,45
FTTH GPON			
OLT V-SOL GPON V1600G1	1	750	750
Patch Cord SC/UPC	4	10	40
ODF de 12 puertos	1	40	40
Pigtail SC/APC	328	1	328
Pigtail SC/UPC	200	1	200
Splitter óptico 1x8	2	7	14
ONU V-SOL V2802GW	200	55	11000
Bobina de cable de fibra óptica ADSS 12 hilos, 4 Km, Span 120 m	1	350	350
Bobina de cable de fibra óptica Drop 2 hilos, 2 Km, Span 80 m	10	34	340
Herrajes tipo A CFIBER	60	1	60
Caja LCP 16 hilos	4	25	100
Caja NAP 8 hilos	32	16,50	528
Roseta	200	1	200
		Total:	15848,41

Autor: (Altala, 2023), (Aire, 2023) Modificado: Autor

Nota: En esta lista se definieron los equipos y materiales requeridos para la red híbrida, si algunos elementos no han sido listados se debe a que la empresa REDESTEL ya cuenta con estos activos, al tener años trabajando en este negocio, cuentan con algunos elementos disponibles para su utilización.

5.3.2. Egresos presupuestados para el personal técnico

En la **Tabla 47** se detalla la cantidad de personal requerido para el despliegue de la red híbrida, tanto los empleados fijos de la empresa como los empleados temporales contratados para

la obra; el tiempo requerido para el levantamiento de este proyecto será de aproximadamente 52 días (2 meses sin contar los domingos); las horas extra no se tomaron en cuenta en el presupuesto.

Tabla 47

Egresos del personal operativo

Trabajador	Precio	Total (52 días)
Técnico 1 (parte de la empresa)	500 USD. /mes	1000 USD.
Técnico 2 (parte de la empresa)	500 USD. /mes	1000 USD.
Ayudante 1 (externo)	15 USD. /día	780 USD.
Ayudante 2 (externo)	15 USD. /día	780 USD.
Total:		3560 USD.

Autor: Creación propia

5.3.3. Egresos presupuestados para la movilización y alimentación

La **Tabla 48** presenta un valor estimado de los egresos generados por la movilización desde Ibarra a Pimampiro, cerro Cabras y Carpuela. Considerando que la empresa cuenta con vehículo propio, los gastos se ven reflejados en gasolina y la alimentación para el personal involucrado en el desarrollo de la red híbrida.

Tabla 48

Egresos de movilización y alimentación

Detalle	Precio	Total (52 días)
Gasolina	13 USD. /día	676 USD.
Alimentación	3,50 USD. /día	728 USD.
Total:		1404 USD.

Autor: Creación propia

Nota: El costo de la alimentación se calculó para los cuatro empleados responsables del despliegue de la red híbrida hasta finalizar su desarrollo.

5.3.4. Egreso total presupuestado para la red híbrida

La **Tabla 49** presenta el costo total aproximado para la creación de la red híbrida desplegada desde el nodo principal de Pimampiro pasando por las estaciones ubicadas en el nodo principal, la repetidora Cabras, el nodo de Carpuela hasta los usuarios finales en un periodo de 2 meses.

Tabla 49

Egresos totales para el desarrollo de la red híbrida

Descripción	Cantidad	Total
Equipos activos y pasivos	1	19040,41
Personal (2 meses)	1	3560
Movilización y alimentación	1	1404
	Total:	24004,41

Autor: Creación propia

Estos resultados han sido obtenidos tomando en cuenta toda la disponibilidad de la red en cuestión, es decir, el precio total de la tabla anterior será utilizada para cubrir el servicio a 200 usuarios, según los datos obtenidos por (De Jesús, 2021).

5.3.5. Egresos mensuales estimados en el servicio de internet con la red híbrida

Sin contar con la inversión inicial, la empresa necesita contar con un presupuesto mensual destinado al mantenimiento de la red híbrida, entre los gastos a tomar en cuenta se considerarán los siguientes:

- Salario de los empleados: establecido de acuerdo con la información obtenida de la empresa REDESTEL, se fijó que para brindar mantenimiento a la red en caso de necesitarla y realizar instalaciones a los nuevos clientes será suficiente contar con 2

empleados al no ser un área extensa. El salario de los empleados es el mismo recibido por mes, es decir, 500 USD por cada uno.

- Transporte: de acuerdo con el consumo diario de 15 dólares en gasolina se estableció un gasto mensual (sin contar fines de semana) de 330 dólares y de ese precio se le agregará un 15% adicional para cubrir gastos relacionados a asuntos mecánicos, dando un total de 379,50 dólares mensuales, redondeando se establecerá un egreso de 380 dólares mensuales.
- Arriendo de internet: La obtención del internet se lo realizará a través de la empresa FIBRAMAX, cuyo precio es de 1 dólar por cada Mbps solicitado, para la comunidad se requiere de al menos 400 Mbps, que esto a su vez se traduce a pagar 400 dólares mensuales.

En la **Tabla 50** se detalla el presupuesto de los egresos requeridos mensualmente por parte de la empresa REDESTEL para sostener el servicio de la red híbrida en Carpuela.

Tabla 50

Egresos mensuales por el servicio de Internet

Pago a empleados	1000 USD.
Transporte	380 USD.
Arriendo del servicio de internet	400 USD.
Total:	1780 USD.

Autor: (REDESTEL,2023) Modificado: Autor

5.3.6. Ingresos mensuales estimados en el servicio de internet con la red híbrida

Una vez obtenido un estimado de la inversión necesitada para el desarrollo de la red híbrida, se realizó un presupuesto de los ingresos previstos a partir de un año de su implementación. Para ello se considerarán algunos parámetros iniciales como:

- Número inicial de clientes estimado: Establecido de acuerdo con la información obtenida de la empresa REDESTEL, se considera que el 50% de las familias de la comunidad son clientes potenciales al iniciar el despliegue de la red, es decir, se estima brindar el servicio de internet por lo menos a 100 clientes en un inicio.
- Las mensualidades de los clientes: Borrarán entre 20 y 30 dólares, por lo que para el ejercicio se tomó un promedio de 25 dólares por cada cliente al mes.
- El costo de instalación será gratuito, por lo que no se lo tomará como un dato en el ingreso del servicio de la red híbrida.

En la **Tabla 51** se detalla un presupuesto para los ingresos obtenidos por la empresa REDESTEL en la comunidad de Carpuela de 100 usuarios iniciales, cuyo incremento se estima de un 3% por mes.

Tabla 51

Ingresos mensuales por el servicio de Internet

Incremento mensual de usuarios	3% (3 usuarios nuevos)
Costo mensual del servicio	25 USD.
Costo de instalación del servicio	0 USD.
Total:	25 USD.

Autor: (REDESTEL,2023) Modificado: Autor

5.3.7. Flujos de caja netos por año

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores se procedió a realizar el cálculo estimado de los ingresos previstos en dos años del servicio de internet ofrecido en la comunidad de Carpuela, donde se presupuestó un incremento mensual de los usuarios del 3% y cómo esto se refleja en el valor de los ingresos obtenidos cada mes, tal y como se observa en la **Tabla 52** y **Tabla 53**. También, se incluyeron además los egresos mensuales presentados en la **Tabla 50**.

Tabla 52*Ingresos estimados del primer año*

PRIMER AÑO DE SERVICIO			
Mes	Número de usuarios	Ingreso mensual	Egreso mensual
1	100	2500	1780
2	103	2575	1780
3	106	2650	1780
4	109	2725	1780
5	112	2800	1780
6	115	2875	1780
7	118	2950	1780
8	121	3025	1780
9	124	3100	1780
10	127	3175	1780
11	130	3250	1780
12	133	3325	1780
Subtotal:		34950 USD.	21360 USD.
Ingresos del primer año:		13590 USD.	

Autor: Creación propia

Tabla 53*Ingresos estimados del segundo año*

SEGUNDO AÑO DE SERVICIO			
Mes	Número de usuarios	Ingreso mensual	Egreso mensual
13	136	3400	1780
14	139	3475	1780
15	142	3550	1780
16	145	3625	1780

17	148	3700	1780
18	151	3775	1780
Inversión recuperada:		10845 USD.	
19	154	3850	1780
20	157	3925	1780
21	160	4000	1780
22	163	4075	1780
23	166	4150	1780
24	169	4225	1780
Subtotal:		45750 USD.	21360 USD.
Ingresos del segundo año:		24390 USD.	

Autor: Creación propia

Se pudo definir mediante las **Tabla 52** y la **Tabla 53** el tiempo estimado para la recuperación de la inversión inicial de 24004,41 USD utilizada en la red híbrida, por lo que, a una tasa de crecimiento del 3% de los clientes cada mes se estima que, para el mes 18 desde que comienza el funcionamiento de la red híbrida se habrá recuperado toda la inversión en un escenario ideal, recolectando un total de 24435 USD.

Siguiendo con el análisis, en la **Tabla 54** se consideraron los 200 clientes establecidos desde un principio para brindar el servicio de internet, por lo que, con el incremento pronosticado de 3 clientes al mes se obtuvo que al finalizar el tercer año de servicio se podría cumplir con el objetivo contando con 205 clientes aproximadamente.

Tabla 54*Ingresos estimados en el tercer año*

TERCER AÑO DE SERVICIO			
Mes	Número de usuarios	Ingreso mensual	Egreso mensual
25	172	4300	1780
26	175	4375	1780
27	178	4450	1780
28	181	4525	1780
29	184	4600	1780
30	187	4675	1780
31	190	4750	1780
32	193	4825	1780
33	196	4900	1780
34	199	4975	1780
35	202	5050	1780
36	205	5125	1780
Subtotal:		56550 USD.	21360 USD.
Ingresos del tercer año:		35190 USD.	

Autor: Creación propia

La tarifa recolectada para el tercer año será de 35190 dólares, siendo el equivalente al 146,6% del valor recuperado con respecto a la inversión inicial.

Entre todos los usuarios estimados dentro de 3 años se obtendrían aproximadamente 73170 dólares de ganancia. Por lo que, se puede considerar que existe viabilidad en el proyecto, sin embargo, este es un análisis teórico que puede variar dependiendo del incremento de empresas competidoras dentro del área donde será implementado el proyecto.

5.4. Evaluación de la inversión requerida para el despliegue de la red híbrida

Después de proyectar los ingresos y egresos dentro de aproximadamente 15 meses y pronosticar la rentabilidad de la red híbrida a corto o mediano plazo, el siguiente paso es evaluar el anterior análisis mediante 4 herramientas financieras que comprobarán la factibilidad económica y definirán la inversión necesaria para la ejecución este proyecto. Dichas herramientas son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperación de la Inversión (PRI) y Costo – Beneficio (C/B).

5.4.1. VAN

El Valor Actual Neto (VAN) es una medida del valor presente de los flujos de efectivo futuros de un proyecto de inversión. Se calcula restando el costo total de la inversión inicial de la suma de los flujos de efectivo descontados al valor presente. Si el VAN es positivo, el proyecto puede ser una inversión rentable. Por otro lado, si el VAN es negativo, el proyecto se considera no rentable y puede no ser una buena inversión. Con la fórmula descrita en la **Ecuación 15**

Ecuación 15

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

Donde:

F_t : Flujos de caja futuros

k : Tasa de interés

I_0 : Inversión inicial

t : Periodo de análisis hasta n

El análisis del VAN se lo realizará en un periodo n de 3 años, hasta completar el número de clientes establecido al inicio del desarrollo del trabajo de titulación de acuerdo con lo pronosticado en la **Tabla 52**, **Tabla 53** y **Tabla 54**.

Por lo tanto, el desarrollo para el cálculo del VAN se lo realizó de la siguiente manera:

$$F_t: 18150, 28950, 39750$$

$$k: 10\%$$

$$I_0: 24004,41$$

$$t: 3$$

$$VAN = \sum_{t=1}^3 \frac{F_t}{(1 + 0,10)^t} - 24004,41$$

$$VAN = \left(\frac{13590}{(1 + 0,1)^1} + \frac{24390}{(1 + 0,1)^2} + \frac{35190}{(1 + 0,1)^3} \right) - 24004,41$$

$$VAN = 12354,55 + 20157,03 + 26438,77 - 24004,41$$

$$VAN = 34945,94$$

El VAN resultante será de 34945,94 dólares, un valor positivo que permite concluir que el proyecto es viable, al poder generar un retorno neto mayor a la inversión de acuerdo con la tasa de interés del 10% utilizada.

5.4.2. TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una medida utilizada en la evaluación de cualquier proyecto de inversión que permite determinar la rentabilidad de una inversión. También puede ser definido como la tasa de interés a la cual el VAN de los flujos de efectivo del proyecto es igual a cero, en otras palabras, el valor presente de los flujos de caja del proyecto debe ser igual a la inversión inicial.

Se puede expresar matemáticamente la Tasa Interna de Retorno mediante la fórmula presentada en la **Ecuación 16** partiendo de la fórmula vista en la **Ecuación 15**.

Ecuación 16

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

Donde:

TIR: Valor por buscar para que los flujos de caja futuros tengan el mismo valor que la inversión inicial.

F_t : Flujos de caja futuros (13590, 24390, 35190)

I_0 : Inversión inicial (24004,41)

t : Periodo de análisis hasta n (3 años)

Para la obtención del valor esperado se utilizará la función “TIR” de Excel, que probará distintas tasas de descuento hasta encontrar la que haga que el VAN sea igual a cero.

A través de la **Figura 144** se puede visualizar la operación realizada en Excel para encontrar la Tasa Interna de Retorno.

Figura 144

Cálculo del TIR en Excel

Inversión inicial	24004,41
Tasa de interés	10%

Flujo de ingresos	
A	
Año	Valor
1	34950
2	45750
3	56550

Flujo de egresos	
B	
Año	Valor
1	21360
2	21360
3	21360

Flujo de Efectivo Neto	
A-B	
Año	Valor
0	-24004,41
1	13590
2	24390
3	35190

Fórmula del TIR =TIR(H8:H11)

TIR	69%
------------	-----

Autor: Creación propia

En conclusión, la TIR fue utilizada como medida importante para evaluar la rentabilidad de este presente proyecto, ya que representa la tasa de crecimiento efectiva en términos porcentuales. Al tener un TIR con un valor de 69% se puede asegurar que el presente proyecto es rentable, ya que superó con creces la tasa de descuento del 10% utilizada para la evaluación de la viabilidad. Por lo tanto, si la información con la que se desarrolló el análisis financiero se cumple en su mayoría en la red de Carpuela, se podría esperar obtener un retorno que supere la tasa de oportunidad de inversión.

5.4.3. PRI

El periodo de recuperación de la Inversión (PRI) es una técnica de evaluación de proyectos utilizada para calcular el tiempo necesario que se necesita para recuperar la inversión del proyecto. Para ello es necesario dividir los costos iniciales del proyecto entre los flujos de caja esperados para cada periodo, hasta llegar al punto en que los flujos de caja acumulados sean iguales o superiores a la inversión inicial. El resultado se verá expresado en unidades de tiempo como años meses y días. La fórmula del PRI se encuentra en la **Ecuación 17**.

Ecuación 17

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujo de caja neto anual}}$$

Donde:

Inversión inicial: 24004,41 USD.

Flujo de caja neto anual: 13590 USD, 24390 USD, 35190 USD.

El primer paso es identificar el periodo de recuperación necesario para recuperar la inversión inicial, por lo tanto, los flujos de caja netos se sumarán hasta que el resultado sea igual o mayor que la inversión inicial.

$$1) 24004,41 - 13590 = 10414,41$$

$$2) 10414,41 - 24390 = -13975,59$$

$$3) -13975,59 + 35190 = 21214,41$$

Se encontró el período de recuperación (PR) en los años 2 y 3, puesto que al final del año 2 no se ha recuperado la inversión inicial, sin embargo, al final del año 3 ya se ha logrado recuperar la inversión. Ahora si se utilizará la fórmula del PRI.

$$PRI = PR + \frac{\text{Inversión inicial} - \text{suma de flujos de caja netos hasta el final del periodo anterior}}{\text{Flujo de caja neto del periodo de recuperación}}$$

$$PRI = 2 + \frac{24004,41 - 10414,41}{24390}$$

$$PRI = 2,77 \text{ años}$$

Con el resultado obtenido solamente hace falta transformar el resultado en años y meses por medio de una regla de 3 para estimar el tiempo de recuperación de la inversión, por lo tanto, la recuperación de la inversión inicial tardará aproximadamente 2 años y 9 meses.

5.4.4. C/B

El Costo – Beneficio como su nombre lo dice, es una técnica de evaluación de proyectos que determina la relación entre los costos y los beneficios de estos. Se obtiene del cálculo entre

el valor presente de los beneficios dividido para el valor presente de los costos del proyecto. Con este resultado se puede saber cuantos dólares de beneficios se obtienen por cada dólar invertido.

Si el resultado del C/B es mayor que 1 el proyecto se considera viable, ya que los beneficios superan los costos.

Para conocer si la empresa REDESTEL obtendrá beneficios se dividirá la suma del flujo de caja neto de 3 años para la inversión inicial realizada. Con la **Ecuación 18** se explica mejor la operación.

Ecuación 18

$$C/B = \frac{\Sigma(\text{flujos netos actualizados})}{\text{inversión inicial}}$$

$$C/B = \frac{13590 + 24390 + 35190}{24004,41}$$

$$C/B = \frac{73170}{24004,41}$$

$$C/B = 3,05 \text{ USD.}$$

Con el resultado obtenido se puede llegar a la conclusión de que el C/B del presente proyecto es de 3 dólares con 5 centavos, lo que significa que, por cada dólar invertido en el proyecto se obtendrán 3,05 dólares de beneficio, considerando al proyecto rentable, viable y listo para ser implementado por la empresa REDESTEL S.A.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRABAJO REALIZADO

6.1. CONCLUSIONES

- No es posible únicamente ofrecer un buen servicio de internet por medio de fibra óptica. Gracias al avance tecnológico presenciado en los equipos inalámbricos actuales es posible alcanzar rutas mayores a los 10 Km con antenas que garanticen una conexión estable, velocidades de transmisión que borda el rango de los Gigabits por segundo y sean compatibles con el estándar 802.11ac para utilizar la banda libre de 5 GHz, donde la congestión de las señales es menor que la de 2,4 GHz.
- La implementación de una estación repetidora fue necesaria para la primera etapa de la red híbrida, ya que al intentar realizar la transmisión vía microondas entre estaciones finales se presentaron obstrucciones en la línea de vista a 1,4 Km desde el nodo de Pimampiro y a 1,8 Km desde el nodo de Carpuela, por lo que la mejor opción fue implementar una estación repetidora en el mirador de Cabras ubicada a 10 Km de Pimampiro y a 5 Km de Carpuela, generando así una línea de vista totalmente despejada y una obstrucción del 0% en la zona de Fresnel según el diseño y simulaciones realizadas.
- Para el desarrollo de la etapa de la red FTTH GPON y conocer los niveles de potencia requeridos en el equipo del usuario final y la cantidad máxima y mínima de cable de fibra utilizado se requirió analizar únicamente los dos casos más extremos de la red, la ruta más corta y lejana, ya que las ONU necesitan recibir un nivel de potencia que no rebase su nivel de saturación y sensibilidad permitidos para contar con una transmisión exitosa.
- Se puede concluir que la etapa de la red FTTH GPON está lista para abarcar hasta un máximo de 256 usuarios, sin embargo, por motivos de escalabilidad, la red se diseñó para

disponer del doble de usuarios, es decir, poder escalar hasta los 512 usuarios al tener los 4 puertos GPON disponibles en la OLT y 4 hilos de fibra en la red Feeder sin utilizar. En cuanto a la parte de ancho de banda, en caso de necesitar aumentar la velocidad de transmisión brindada por aumento de usuarios convendrá optar por una tecnología superior como XGPON, la cual proporciona velocidades de transmisión de hasta 10 Gbps para Downlink y 2,5 Gbps para Uplink.

- Una red híbrida formada por una etapa de transmisión inalámbrica y una etapa de red de fibra óptica es una alternativa conveniente para los proveedores de internet que desean brindar su servicio a los lugares de difícil acceso debido a su ubicación geográfica; por lo tanto, el diseño presentado en este proyecto cumple con las características necesarias para ser implementado en este o cualquier otro sector rural.

6.2. RECOMENDACIONES

- Para realizar el diseño de la red de transmisión mediante radioenlaces se recomienda utilizar equipos microondas lo suficientemente robustos tanto en potencia como en seguridad, en el caso de los equipos Mimosa, estos garantizan que el envío de la señal de internet llegue de forma confiable y estable al destino.
- Tomar como base las normativas implementadas por la ARCOTEL para los medios de transmisión de enlaces físicos es una práctica recomendable por realizar antes de diseñar una red inalámbrica, con el motivo de conocer las resoluciones establecidas en el uso del espectro radioeléctrico y el rango de bandas libres disponibles para su utilización; así como los reglamentos para la homologación y certificación de equipos de Telecomunicaciones.

- Como normas de seguridad aplicables para la red FTTH GPON se recomienda proteger la infraestructura técnica como son: el armario central y las cajas de distribución, cuya accesibilidad se limite al personal autorizado. Además, se recomienda crear redundancia en la red óptica con un anillo de fibra para garantizar la continuidad en el servicio de los abonados y en los equipos como los módulos GPON, disponiendo de puertos extra en caso de fallas con los ya utilizados, así como también contar con hilos de fibra disponibles.

Bibliografía

- WNDW. (2013). *Redes Inalámbricas en los países en desarrollo*. <https://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>
- Agualongo, V. (2016). *Implementación de una red WLAN que permita el acceso a la Internet, a las PCs de las aulas de la escuela fisca l mixta José María Vargas ubicada en el barrio Santo Domingo de Conocoto*. Quito: EPN.
- Aire. (2023). *aire.ec*. <https://aire.ec/>
- Albán, M. (2006). *Metodología de diseño de redes de fibra óptica*. ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2448>
- Alfa Telecom. (s.f.). *Alfa*. <https://www.alfatelecom.mx/punto-a-multipunto/>
- Altala. (25 de febrero de 2023). *altalashop.net*. <https://altalashop.net/>
- Altamar, H. (2021). *Diseño de una red de fibra óptica para el suministro de internet en la comunidad del barrio Altos de Aeromar - Santa Marta, Magdalena*. Universidad Cooperativa de Colombia. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/36370/2/2021_red_fibra_internet.pdf
- Ampere.lat. (2017). *gruposimonett.com*. <http://www.grupoampere.com/comunicaciones-dsss-fhss>
- Anguera, J. (2008). *Teoría de antenas*. Universitat Ramon Llull.
- Arcotel. (2017). *03-03-ARCOTEL-2017 Reglamento para Homologación y Certificación de Equipos Terminales de Telecomunicaciones*. Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones. <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/REGLAMENTO-DE-HOMOLOGACIIO%CC%81N-R.Oficial-1.pdf>

- Arcotel. (2018). *Reglamento General a la Ley Orgánica de Telecomunicaciones*. Lexis.
<https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2018/10/Reglamento-General-a-la-Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- Arcotel. (2018). *Resolución ARCOTEL 2018*. Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Documento_ARCOTEL-2018-0661.pdf
- Arcotel. (2021). *Plan nacional de frecuencias*. Dirección técnica de regulación del espectro radioeléctrico.
- Bastidas, H. (2012). *Cálculo de las frecuencias de corte en fibras ópticas de índice escalonado, utilizando Matlab*. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v22n2/v22n2a06.pdf>
- BirtLH. (s.f.). *La señal de la radiodifusión*.
https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV02/es_IEA_ICTV02_Contenidos/webseite_3_el_espectro_radioelctrico.html#
- BlinkenTech. (2020). *Distribuidor de fibra óptica DOR*. Eroberer. https://erobrerer.com.mx/wp-content/uploads/2020/09/ERO-BK-DOR-Distribuidor-de-Rack_compressed.pdf
- BlogCCNA. (s.f.). <https://ccnadesdecero.es/tipos-tecnologia-dsl/>
- Buettrich, S. (2007). *Cálculo de radioenlace*. Tricalcar.
http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf
- Camara, M. (03 de marzo de 2015). *Fibraopticahoy*. <https://www.fibraopticahoy.com/cables-de-tubo-holgado-con-doble-lszh/>

- Campos, J. (2019). *Diseño de una red de acceso para brindar servicios Triple Play con tecnología GPON y plan de certificación de la ODN implementada para el sector "El Dorado" en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza*. Escuela Politécnica Nacional.
- Carballar, J. (09 de julio de 2021). *carballar.com*. <https://carballar.com/antenas-wi-fi-lo-que-hay-que-saber>
- Cesari, L. (21 de julio de 2019). *Leandro Cesari Maschietto*.
<https://leandromaschietto.blogspot.com/2019/07/fibra-optica-tipos-de-redes-fttx-e-suas.html>
- Chavarri, G. (2020). *Blogthinkbig*. <https://blogthinkbig.com/la-era-digital-educacion-y-trabajo-detalles-de-una-transformacion>
- CNT. (2020). *Cable tipo Drop exterior aéreo plano 2x5mm de 2 hilos - G.567.A2*. <https://cnt-media.boxqos.com/institutional/FichasTecnicas/fibra%20%C3%B3ptica/40005619%20ABLE%20DROP%20EXTERIOR%20AEREO%20PLANO%20X5%20mm%20%20HILOS-G657.pdf>
- Colorado, J. (2011). *Transmisión de información usando la modulación (DSSS) Espectro Ensanchado por Secuencia Directa*. Universidad Tecnológica de Pereira.
<https://core.ac.uk/download/pdf/71398104.pdf>
- Connection. (2015). *Splitter PLC*.
https://drive.google.com/file/d/1Wwga3VDDWqUuZjvo7WRiqx_Ub92GYvFH/view
- Connection. (2017). *SCAPC Patch Cord*.
- Connection. (2020). *Cable ADSS 12-Fiber SM*.
<https://drive.google.com/file/d/1EpLwbh9zianHz75E10N9BSiL0Ve5Af0c/view>
- Contelec. (2013). *Contelecltda*. <http://www.contelecltda.com/enlaces-inalambricos/>

Corcoran, T. (2015). *Understanding FTTH Architecture*. MBI.

https://www.sandisfieldma.gov/sites/g/files/vyh1f1171/f/uploads/understanding_ftth_architecture_v5.pdf

Dávalos, N. (26 de diciembre de 2020). *Primicias*.

<https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/brecha-digital-dificulto-pandemia-internet/>

De Jesús, J. S. (10 de mayo de 2021). *Arcgis*.

<https://storymaps.arcgis.com/stories/6e5a79b9e50144e2a1c1e87c34fa8061>

Del Alcázar, J. P. (enero de 2021). *Mentinho*.

<https://blog.formaciongerencial.com/estadodigitalecuador2021/>

Di Cesare, M. (2020). *Sistemas de Telecomunicaciones*.

http://eet485.com.ar/Archivos/Sistemas%20de%20Telecomunicaciones%20-%20Radioenlace_rtu.pdf

Dik, D. (2015). *Análisis y diseño de la migración de la red actual de cobre, en la ruta 13 de la central norte de CNT en la ciudad de Guayaquil, a una red de fibra óptica*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4230.3762>

El Universo. (26 de junio de 2020). *Eluniverso*.

<https://www.eluniverso.com/noticias/2020/06/23/nota/7881924/internet-fijo-servicio-operadoras-demanda-cuarentena-covid-19/>

Escudero, A. (2007). *Estándares inalámbricos*. Tricalcar.

http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/02_es_estandares-inalambricos_guia_v02.pdf

Fernández, M. (2014). *Medios de transmisión*. Universidad de Cádiz.

https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/16867/tema05_medios.pdf

Fibraopticahoy. (03 de julio de 2012). *El blog de fibraopticahoy.com*.

<https://www.fibraopticahoy.com/blog/empalme-por-fusion/>

Fibremex. (12 de agosto de 2020). *Estructura de los cables de fibra óptica*.

<https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=90&nom=estructura-cables-fibra-optica>

FIIXCOM. (2022). *fiixcom.mx*. <https://www.fiixcom.mx/es/redes/enlaces-inalambricos/>

Flores, J. (2019). *¿Qué es una zona de Fresnel?*

Fmuser. (19 de junio de 2020). *fmuser.net*. <https://es.fmuser.net/wap/content/?7542.html>

FOA. (2017). *Guía de fibra óptica*. The Fiber Optic Association.

Focc. (03 de julio de 2020). *fiberfocc.com*. <http://www.fibresplitter.com/news/what-is-fttb-37550834.html>

FS community. (2 de septiembre de 2020). *fs.com*. <https://community.fs.com/es/blog/fiber-optic-adaptercoupler-tutorial.html>

FS community. (7 de agosto de 2020). *fs.com*. <https://community.fs.com/es/blog/optical-power-meter-an-essential-tester-for-fiber-optic-testing.html>

FS community. (13 de julio de 2021). *fs.com*. <https://community.fs.com/es/blog/basic-of-optical-distribution-frame-odf.html>

FS community. (2022). *FHD optical wall mount enclosure*. FS.

https://www.fs.com/es/products_support/preview.html?categories_id=3358&files_id=19&model_name=FHD-FWME2&products_id=50550

Furukawa. (2019). *Divisor óptico 2xn equilibrado*. Furukawa Electric.

<https://www.furukawatam.com/es/versao-et-pdf/divisor-optico-2xn-equilibrado>

Furukawa. (2021). *Divisor óptico modular*. Furukawa Electric.

<https://www.furukawatam.com/es/versao-et-pdf/divisor-optico-modular>

Garduño, E. (2010). *Optimización de una antena plana para sistemas multiestándar*. Instituto Politécnico Nacional. <https://1library.co/article/densidad-de-potencia-radiada-principales-par%C3%A1metros.7q0er5vy>

Gerediaga, G. (2011). *Tecnologías de red GPON*.

https://www.academia.edu/23217755/TECNOLOG%C3%8DAS_DE_REDES_PON

González, G. (2018). *Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial*. Universitat Oberta de Catalunya.

<https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria.pdf>

Gutiérrez, O. E. (2020). Comunicaciones móviles y redes inalámbricas. En O. E. Gutiérrez, *Comunicaciones móviles y redes inalámbricas* (pág. 200). Córdoba, Argentina: Jorge Sarmiento Editor - Universitas. <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/172318?page=24>

Guzmán, J. (2012). *Introducción a dBm*. Attribution Non-Commercial.

<https://es.scribd.com/document/81749815/Introduccion-a-Dbm#>

Hanxin. (2020). *hxuk.com*. https://www.hxuk.com/pro_show-132.html

Heredia, V. (2016). *Diseño de una red de fibra hasta el hogar para la ciudad de Cuenca*. Maskana.

Hernández, J. (2010). *Instrumentación y diseño de una fuente de alto voltaje para fabricar rejillas de fibra óptica mediante la técnica de arco eléctrico*. Revista mexicana de física. https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-2-Estructura-de-una-fibra-optica-en-la-que-se-aprecia-en-la-parte-central-el_fig2_235754545

- Huawei. (2022). *huawei.com*. <https://info.support.huawei.com/info-finder/encyclopedia/en/MU-MIMO.html>
- Huidrobo, J. M. (2013). *Antenas de Telecomunicaciones*. Cedro.
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- IEEE. (2021). *standards.ieee.org*. <https://standards.ieee.org/ieee/802.11ax/7180/>
- IESTEL. (20 de enero de 2022). *iestel.co*. <http://iestel.co/productos/estructuras/torres-de-telecomunicaciones/>
- Incoreacables. (2022). *Fibra óptica ADSS*. <https://incoreacables.com/producto/fibra-optica-adss/>
- Insieme. (10 de noviembre de 2021). *InsiemeTecnologia*.
<https://www.insieme.com.ar/project/instalacion-de-olt-gpon-ftth/>
- Insight Infosys. (2023). *insightinfosys.com*. <https://insightinfosys.com/shop/mimosa-c5c/>
- ITU-T. (2003). *Equipo de prueba del factor Q para evaluar la calidad de transmisión de los canales ópticos*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- ITU-T. (2008). *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*. International Telecommunication Union.
- ITU-T. (2008). *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification*. International Communication Union.
- ITU-T. (2014). *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification*. Internacional Communication Union.
- ITU-T. (2019). *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification*. Internacional Telecommunication Union.
- JASTech. (2022). *Herrajes para fibra óptica*. <https://www.jastech.com.ec/wp-content/uploads/2022/03/HERRAJES-2-1.pdf>

- Jiménez, J. (24 de septiembre de 2021). *Redes zone*. <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/diferencias-antenas-omnidireccionales-direccionales/>
- Kroton. (2020). *Kroton*. <https://www.kroton.com.pe/product/arreglo-antenas-sectoriales-hd-3-x-30-airprism-5-ghz-22-dbi/>
- Kumar, A. (2017). *A Review on Cognitive Radio for Next Generation Cellular Network and its Challenges*. American Journal of Engineering and Applied Sciences.
https://www.researchgate.net/publication/315796743_A_Review_on_Cognitive_Radio_for_Next_Generation_Cellular_Network_and_its_Challenges
- Lattanzi, M. (2021). *Redes FTTx conceptos y aplicaciones*. IEEE Argentina.
https://www.coimbraweb.com/documentos/opticas/ftth_gpon_ieee.pdf
- Llumiquinga, D. (2008). *Análisis y diseño del sistema redundante de fibra óptica Quito-Guayaquil para la red de Telconet S.A.* Escuela Politécnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/993/1/CD-1295.pdf>
- López, A. (4 de octubre de 2022). *Redes zone*. <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/>
- López, C. (29 de octubre de 2017). *medium.com*. <https://medium.com/@clopez.stark/cuatro-tipos-comunes-de-conectores-de-fibra-%C3%B3ptica-4ada21a95541>
- López, E. (2013). *Divisores ópticos*. Universitat Politècnica de Catalunya.
https://www.researchgate.net/publication/280712505_DIVISORES_OPTICOS_SPLITTERS_EN_FTTH
- López, V. (3 de junio de 2021). *expreso.ec*. <https://www.expreso.ec/actualidad/37-escolares-ecuador-cuenta-internet-casa-2021-105697.html>

- Lozada, D. (2010). *Diseño de una red de alta capacidad para el enlace Quito - Lago Agrio utilizando radios SDH para el transporte de datos*. Escuela Politécnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2674/1/CD-3359.pdf>
- Marchukov, Y. (2011). *Desarrollo de una aplicación para el diseño de infraestructuras FTTH*. Universidad Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf>
- Martínez, D. (2021). *Diseño de una Red de Acceso PON FTTH para un Bloque de Edificios*. Universitat Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/178944/Martinez%20-%20Diseno%20de%20una%20Red%20de%20Acceso%20PON%20FTTH%20para%20un%20Bloque%20de%20Edificios%20por%20Interior.pdf?sequence=1>
- Martínez, J. L. (19 de noviembre de 2018). *Ventanas de transmisión*.
<https://www.prored.es/ventanas-de-transmision/>
- Martínez, J. L. (03 de julio de 2018). *Zonas de Fresnel*. <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>
- MikroTik. (2017). *CRS326-24G-2S+RM*. <https://mikrotik.com/product/CRS326-24G-2SplusRM#fndtn-gallery>
- MikroTik. (2019). *CCR1036-8G-2S*. https://i.mt.lv/cdn/product_files/CCR1036-8G-2S-r2_200126.pdf
- Mimosa. (2016). *Mimosa's integrated C5x radio and modular N5-X antennas*.
<https://mimosa.co/uploads/Mimosa-Datasheet-C5x-DS-0016-16.pdf>
- Mimosa. (2023). *C5c Specifications*. <https://mimosa.co/products/specs/c5c>

MINTEL. (2018). *Acuerdo ministerial No. 006-2018*. Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. [https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-](https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2020/06/ACUERDO-006-NORMA-T%C3%89CNICA-TORRES-TORRETAS-ETC.pdf)

[content/uploads/2020/06/ACUERDO-006-NORMA-T%C3%89CNICA-TORRES-TORRETAS-ETC.pdf](https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2020/06/ACUERDO-006-NORMA-T%C3%89CNICA-TORRES-TORRETAS-ETC.pdf)

Morales, L. (2013). *Modelo de optimización del diseño de una red Wi-MAX para dar cobertura a un conjunto de puntos geográficamente distantes*. Universidad de Sevilla.

https://www.researchgate.net/publication/298448056_DISENO_DE_UNA_RED_WIMAX_DE_SERVICIO_A_UN_CONJUNTO_DE_PUNTOS_GEOGRAFICAMENTE_DISTANTES_Design_of_a_Wimax_Network_for_a_set_of_geographically_disperse_facilities_-_Spanish-?enrichId=rgreq-7b1591fcbf7b7d1690

MyRepublic. (08 de noviembre de 2017). *MyRepublic Support*.

<https://support.myrepublic.com.sg/hc/en-us/articles/115003469974-Basic-ONT-Modem-Information-and-Troubleshooting>

NEDETEL. (2022). *nedetel.net*. <https://www.nedetel.net/nosotros?section=0>

NetLine. (10 de noviembre de 2020). *netline.net*. [https://netline.net/blog-](https://netline.net/blog-single.php?post=Diferencias_entre_la_conexion_por_radio_enlaces_y_fibra_optica)

[single.php?post=Diferencias_entre_la_conexion_por_radio_enlaces_y_fibra_optica](https://netline.net/blog-single.php?post=Diferencias_entre_la_conexion_por_radio_enlaces_y_fibra_optica)

Ollé, J. (29 de marzo de 2017). *conceptosclaros.com*. <https://conceptosclaros.com/intervalo-confianza/>

Onate, I. (5 de octubre de 2017). *comunicaciones inalambricashoy*.

<https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/sistemas-radio-microondas-multi-gigabit/>

Openetics. (2016). *Specialist Manufacturer Voice & Data. Connecting Quality.*

https://www.openetics.com/document/1/p2568_openetics_ficha_caja_empalme_estanca_fo_24_fibras3e_51223.pdf

Optical Networks. (08 de julio de 2022). *Fibra óptica multimodo.*

<https://www.optical.pe/blog/fibra-optica-multimodo-que-es-y-como-funciona/>

OpticalNetworks. (17 de noviembre de 2022). <https://www.optical.pe/blog/tipos-de-redes-inalambricas/>

OptyTech. (s.f.). *optytech.com*. <https://www.optytech.com.ec/materiales-de-fibra-optica/patch-cord-de-fibra-optica-sc-upc-sc-upc.html>

Orbe, A. (2006). *Análisis y diseño de una WLAN 802.11*. Escuela Politécnica Nacional.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/489/1/CD-0847.pdf>

Ortiz, D. (2015). *Análisis comparativo del desempeño del estándar IEEE 802.11ac con respecto al IEEE 802.11n a través de simulación numérica apoyada por software*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10181/6/UPS%20-%20ST001829.pdf>

Oviedo, B. (2018). *Fundamentos de redes*. Grupo Compás.

Paradiso, J. (2020). *Tecnologías de redes PON*. CePETel. https://www.cepetel.org.ar/wp-content/uploads/2021/07/Unidad-10_Tecnologi%CC%81as-en-Redes-PON.pdf

Paredes, P. (2017). *globalelectric.com.ec*. <https://globalelectric.com.ec/producto/otdr-aq1200/>

Pérez, C. (2013). *Antenas*. Universidad de Cantabria.

https://personales.unican.es/perezvr/pdf/ch10st_web.pdf

Pérez, P. (2017). *Decibel*. <http://www1.frm.utn.edu.ar/medidase2/varios/dB.pdf>

Pignataro, N. (septiembre de 2009). *info@CITEL*.

https://www.oas.org/en/citel/infocitel/2009/septiembre/wimax_e.asp

pngegg. (2022). *Antenas de radiación patrón wi-fi ganancia de antena inalámbrica, antena,*

diverso, ángulo. <https://www.pngegg.com/es/png-ndekx>

Promax. (26 de septiembre de 2019). <https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/>

Quitiaquez, H. (2014). *Análisis y diseño de una red Wi-Fi y Wi-MAX para el centro de investigación científica en Telecomunicaciones, tecnologías de la información y las comunicaciones*. Escuela Politécnica Nacional.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9003/1/CD-6017.pdf>

Ramia, M. (2015). *A Comparision between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards*. IOSR Journal of Computer Engineering.

Ramírez, A. (2013). *Espectro ensanchado por saltos de Frecuencia para la Transmisión de Información por líneas de Potencia*. Universidad Tecnológica de Pereira.

<https://www.redalyc.org/pdf/849/84927487033.pdf>

REDESTEL. (2023). *redestel.ec*. <http://www.redestel.ec/Empresa.php>

Rekesan. (17 de mayo de 2022). *velosan.ec*. <https://velosan.ec/2022/05/17/el-internet/>

Revelo, M. (2019). *Análisis de normativas para redes GPON y la calidad de servicio en Ecuador*. Journal Recinatur Internacional.

RF Elements. (2016). *UltraDish TP 400*. <https://www.gowifi.co.nz/specs/Datasheet-UltraDish-TP-400.pdf>

RF Elements. (2019). *Adaptador TwistPort para Mimosa C5c*.

<https://rfelements.com/assets/Uploads/Datasheet-TP-ADAP-C5c-ESP.pdf>

- Rosero, S. (2015). *Sideño de una red inalámbrica mediante la tecnología Wi-Fi Long distance para los establecimientos educativos del área andina del cantón Cotacachi*. Universidad Técnica del Norte.
- Salazar, J. (2016). *Redes Inalámbricas*. Praha: TechPedia.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
- Samm. (2022). *Fiber Optic Pigtails and Patch Cords*. Samm Teknoloji.
<https://telecom.samm.com/Data/EditorFiles/Datasheets/1-fiber-optic-pigtail/Pigtail-Single-Mode-Samm-Teknoloji.pdf>
- Sánchez, D. (07 de noviembre de 2021). *Ita Tech*. <https://info.ita.tech/blog/antenas-wifi-omni-direccionales>
- Sani, J. (2022). *Diseño, evaluación de una red FTTH utilizando Optisystem y estrategia para la obtención de concesión que permita brindar servicios Triple Play*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15713/1/20T01511.pdf>
- Sevilla, M. (2020). *Resumen sobre Internet*. Universidad de Guadalajara.
<https://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/3088/1/Resumen%20del%20Contenido%20de%20la%20Unidad.pdf>
- Silex Fiber. (2014). *PatchPanel fibra óptica 19 pulgadas 1U 32SC Vodafone*.
<https://www.printfriendly.com/p/g/xskVb7>
- SilexFiber. (2014). *Empalme mecánico Fibra óptica TubeTwo*. SilexFiber.
<https://www.printfriendly.com/p/g/EkJ9h2>
- Silva, Á. (2021). *Ventanas de transmisión de luz en fibra óptica*. Prezi.
<https://prezi.com/p/omizkg12rfg4/ventanas-de-transmision-de-luz-en-fibra-optica/>

- Sincables. (2023). *www.sincables.com.ec*. <https://www.sincables.com.ec/product/mimosa-c5x-access-point-5ghz-capacidad-700mbps/>
- Solutions telecom. (2017). *Solutionsfttx*. <https://www.solutionsfttx.com/single-post/2018/02/20/tipos-de-fibra-optica-capitulo-i-monomodo>
- Syscom. (12 de julio de 2018). *www.syscomblog.com*.
<https://www.syscomblog.com/2018/07/radio-c5c-de-mimosa-networks-excelente.html>
- Tanna, B. (21 de junio de 2022). *stl.tech*. <https://www.stl.tech/blog/introduction-to-g652d-fiber/>
- Tapia, V. (14 de agosto de 2018). *Bits*. <https://www.bits.com.mx/aplicaciones-actuales-de-la-fibra-optica/>
- TIA. (agosto de 2018). *ihs.com*.
https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=TIA%2D598&item_s_key=00134525
- Tinoco, J. (2011). *Estudio y diseño de un red de fibra óptica FTTH para brindar servicio de voz, video y datos para la urbanización Los Olivos ibcada en el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la ciudad de Azogues*. Universidad Técnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1076/12/UPS-CT002134.pdf>
- TP-Link. (2015). *TL-SG2428P V2*. <https://www.tp-link.com/es/business-networking/smart-switch/tl-sg2428p/>
- TraficNet. (2020). *traficnet.pe*. <https://traficnet.pe/services/radio-enlaces-punto-a-punto-y-punto-multipunto/>
- Tranzeo. (2010). *Wireless Link Budget Analysis*. Tranzeo Wireless Technologies Inc.
http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_Link_Budget_Whitepaper.pdf

- TuTiempo. (2021). *TuTiempoNetwork*. <https://tierra.tutiempo.net/ecuador/carpuela-ec001878.html>
- Ubiquiti. (2018). *PowerBeam ac*.
https://dl.ubnt.com/datasheets/PowerBeam_ac/PowerBeam5ac_DS.pdf
- Universitat Politècnica de València - UPV. (04 de abril de 2022). Espectro ensanchado por secuencia directa | | UPV [video]. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=kR_CBisIYA
- Valverde, E. (2015). *Sistemas de transmisión por fibra óptica*. <https://docplayer.es/2343093-Otdr-sistemas-de-transmision-por-fibra-optica.html>
- Vásquez , E. (02 de agosto de 2015). *MenteCuriosa*. <https://mentecuriosa.net/cosas-que-deberias-saber-de-las-redes-inalambricas-wi-fi/>
- Vela, P. (2015). *Estudio y diseño de un radio enlace para transmisión de datos e internet en frecuencia libre para la cooperativa indígena "Alfa y Omega" utilizando equipos Airmax de Ubiquiti*. Escuela Politécnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10776/1/CD-6315.pdf>
- Velasco, B. (2018). *Diseño y simlación de una red GPON para ofrecer el servicio Triple Play en el sector de San Antonio de Ibarra para la CNT-EP*. Escuela Politécnica Nacional.
- V-SOL. (2020). *xPON IGE+IFE+WiFi+CATV ONU Introduction VI.0*.
<https://zcmayoristas.com/zcwebstore/wp-content/uploads/2021/06/Datasheet-ONT-V2802RGW2802RGWT.pdf>
- V-Sol. (2021). *VI600GI-B GPON OLT*. Guangzhou V-Solution Telecommunication Technology Co., Ltd. https://www.vsolcn.com/u_file/2204/file/35f93981b1.pdf

WNI. (2008). *Tipos de antenas y funcionamiento*.

https://www.wni.mx/index.php?view=article&catid=31:general&id=62:antenassoporte&format=pdf&option=com_content&Itemid=30

WNI. (2022). *wni.mx*.

https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=75:80

ANEXOS

Anexo A: Encuesta realizada a la comunidad de Carpuela



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Encuesta enfocada a la situación actual del servicio de internet dirigida a las diferentes familias de la comunidad de Carpuela

Mediante la presente encuesta se procura conocer el nivel de aceptación de las familias de la comunidad de Carpuela al ofrecer un servicio de internet mediante una primera etapa de transmisión punto a punto mediante radio enlace para llegar a una segunda etapa que cuenta con un enlace GPON con Fibra hasta el Hogar, información necesaria para continuar con el desarrollo del trabajo de titulación. La encuesta que se realiza es de tipo anónimo donde se indaga el tipo de servicio de internet con el que cuentan las familias de Carpuela, la calidad del servicio, tipo de conexión, el uso principal de la red, entre otros, a través de las siguientes 10 preguntas presentadas a continuación:

1. ¿Dispone de servicio de internet en su hogar?

SI

NO

2. ¿Qué tiempo utiliza el servicio de internet en su hogar aproximadamente?

1 a 2 horas

2 a 5 horas

5 a 8 horas

8 horas o más

3. ¿Cuál es la actividad más enfocada para utilizar el internet?

Teletrabajo

- Clases en línea
- Investigación
- TV por internet
- Juegos en línea
- YouTube
- Redes sociales
- Servicios Streaming

4. ¿Qué tipo de conexión física ofrece su proveedor de internet?

- Módem telefónico sobre cobre
- Internet inalámbrico
- Fibra óptica

5. ¿Qué velocidad de transmisión de internet dispone?

- Menor a 5 Mbps
- Entre 5 y 15 Mbps
- Entre 15 y 30 Mbps
- Entre 30 y 60 Mbps
- Mayor a 60 Mbps

6. ¿Cuál es el costo de la mensualidad del servicio de internet?

- Entre 10 y 15 dólares
- Entre 15 y 20 dólares
- Entre 20 y 25 dólares
- Entre 25 y 30 dólares

Mayor a 30 dólares

7. ¿Cómo calificaría su actual servicio de internet?

Excelente

Satisfactorio

Regular

Insatisfactorio

8. ¿Le interesa obtener un servicio de internet más eficiente a un precio económico al que usted paga actualmente?

SI

NO

9. ¿Sabe usted que el servicio de internet por medio de fibra óptica presenta ventajas sobre los enlaces inalámbricos (mayor velocidad y estabilidad)?

SI

NO

10. ¿Usted considera como alternativa cambiar su actual servicio de internet a la empresa REDESTEL que ofrece internet por fibra óptica confiable, precios accesibles y mayor velocidad?

SI

NO

Anexo B: Hoja de datos de la antena Mimosa C5c

Mimosa - Data Sheet - Mimosa C5c

Technical Specifications

Performance

- **Max Throughput:**
500+ Mbps IP (866 Mbps PHY)
- **Wireless Protocols:**
WiFi Interop
Mimosa GPS Sync (TDMA)**
- **Modes:**
Client Mode only

Radio

- **MIMO & Modulation:**
2x2:2 MIMO OFDM up to 256-QAM
- **Bandwidth*:**
20/40/80 MHz channels tunable to 5 MHz increments for GPS Sync
Tunable to standard WiFi channels for WiFi Interop
- **Frequency Range:**
4900 - 6200 MHz restricted by country of operation (*new* US/FCC 5600-5650 support)
- **Max Output Power:**
20 dBm
- **Sensitivity (MCS 0):**
-87 dBm @ 80 MHz
-90 dBm @ 40 MHz
-93 dBm @ 20 MHz

Power

- **Max Power Consumption:**
15W
- **System Power Method:**
Passive PoE
- **PoE Power Supply:**
Passive PoE compliant, 48-56 V Power over Ethernet supply (sold separately)

Physical

- **Dimensions:**

Depth -	26.5 mm (1.04")
Width -	65 mm (2.56")
Height -	177 mm (6.97")
- **Weight:**
278 grams (9.8oz)
- **Mounting:**
Single pole strap
- **Connector Type:**
RP-SMA (x2)

Environmental

- **Operating Temperature:**
-40°C to +55°C (-40°F to 131°F)
- **Operating Humidity:**
5 to 100% condensing
- **Operating Altitude:**
4,420 m (14,500') maximum
- **Shock & Vibration:**
ETS 300-019-2-4 class 4M5

Features

- **Gigabit Ethernet:**
10/100/1000-BASE-T
- **Multi-User MIMO**:**
CPE is MU-MIMO capable
- **Management Services:**
Mimosa cloud monitoring and management SNMPv2 & Syslog legacy monitoring HTTPS HTML 5 based Web UI
- **Smart Spectrum Management:**
Active scan monitors/logs ongoing RF interference across channels (no service impact)
Dynamic auto-optimization of channel and bandwidth use
- **Security:**
WPA2 + Mimosa 802.1x Client
- **QoS:**
Supports 4 pre-configured QoS levels

Regulatory + Compliance

- **Approvals:**
FCC Part 15.407 and Part 90Y, IC RSS210, CE, ETSI 301 893/302 502
- **RoHS Compliance:** Yes
- **Safety:** UL/EC/EN/ 60950-1 + CSA-22.2



C5c on Pole

* 4.9 GHz uses 20 MHz channel widths

(US only, regulations vary by region)

** Enabled in future software release

Mimosa Networks, Inc. • www.mimosa.co • @gomimosa

mimosa

©2016 Mimosa Networks, Inc. All rights reserved. The Mimosa logo is a registered trademark of Mimosa Networks, Inc. in the United States. All other company names may be trade names or trademarks of their respective owners. 705-00004 Rev 8/16

Anexo C: Hoja de datos de la antena Mimosa C5x

mimosa • Datasheet • C5x

2

Technical Specifications

Performance

- **Max Throughput:**
PTP: 700 Mbps IP (866 PHY)
(requires PTP feature key)
PTMP: 500 Mbps IP (866 PHY)
(requires PTMP speed feature key to go faster than 100BASE-T)
- **Wireless Protocols:** Mimosa SRS; WiFi Interop
- **Modes:** PTP Backhaul (requires feature key); PTMP Client

Radio

- **MIMO and Modulation:** 2x2:2 MIMO OFDM, up to 256 QAM
- **Bandwidth:** 20/40/80 MHz channels, tunable to 5 MHz increments for Mimosa SRS and WiFi Interop mode
- **Frequency Range:** PTP/PTMP: 4900–6400 MHz
(restricted by country of operation)
- **Max Output Power:** 27 dBm
- **Sensitivity (MCS0):**
-87 dBm @ 80 MHz
-90 dBm @ 40 MHz
-93 dBm @ 20 MHz

Power

- **Max Power Consumption:** 9.2 W average; 12.9 W max
- **System Power Method:** Passive POE (24-56 VDC)
- **PoE Power Supply:** Passive POE compliant, 24-56 V
Power over Ethernet supply (not included)

Physical

- **Dimensions:**
Height: 175 mm (6.89")
Width: 70 mm (2.75")
Depth: 61 mm (2.40")
- **Weight:** 0.37 kg (0.82 lbs)
- **RF Connector Type:** Mimosa NS-X twist-on
- **Enclosure Characteristics:**
Outdoor, die-cast aluminum, UV stabilized paint
- **Mounting:** Dual attached pole mount straps
- **Grounding:** Ground lug
- **Wind Survivability:** 200 km/h (125 mph)

Environmental

- **Outdoor Ingress Protection Rating:** IP55
- **Operating Temperature:** -40°C to +55°C
(-40°F to 131°F)
- **Operating Humidity:** 5 to 100% condensing
- **Operating Altitude:** 4,420 m (14,500') max
- **Shock & Vibration:** ETS 300-019-2-4 class 4M5

Features

- **Gigabit Ethernet:** 10/100/1000-Base-T
- **Management Services:** Mimosa cloud monitoring and management; SNMPv2 & Syslog monitoring; HTTPS; HTML5-based web UI

- **Smart Spectrum Management:** Active scan monitors/logs ongoing RF interference across channels with no service impact; Dynamic auto-optimization of channel and bandwidth use
- **Security:** WPA2 PSK and Enterprise 802.1x; Radius provisioning; COA, DM (from A5); 128-bit AES with hardware acceleration
- **VLANs:** Per subscriber, VLAN, Q-in-Q, triple tagging, management VLAN
- **QoS:** Supports 4 pre-configured QoS levels

Regulatory and Compliance

- **Approvals:** FCC Part 15.405 and Part 90Y CE/ETSI
- **EMI/Safety:**
FCC Part 15 Class B
EN 55022 Class B
IEC61000
UL/IEC 60950-2
IEC/EN 60905-1
- **WEEE/ROHS Compliance:** Yes



C5x with No Antenna