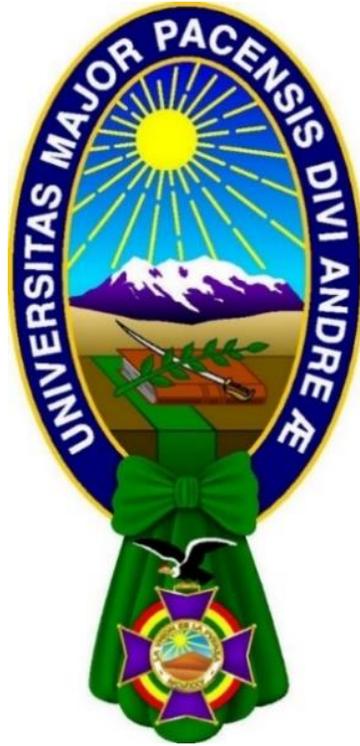


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA**



**PROVISIÓN DE SERVICIOS DE INTERNET
A TRAVÉS DE REDES HFC,
CON TECNOLOGIA EOC
APLICACIÓN: COOPERATIVA DE TELECOMUNICACIONES
COTEL R.L.**

Proyecto de Grado para obtener el Título de Licenciado en Ingeniería Electrónica

POSTULANTE: VITO SANTOS ALANOCA LAURA

TUTOR: ING. WILFREDO QUISPE HUANCA

La Paz-Bolivia

2024



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

INDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Capítulo 1 Aspectos Generales	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Justificación.....	3
1.4.1 Social	3
1.4.2 Económica	4
1.4.3 Técnica.....	7
1.5 Límites y Alcances del Proyecto.....	8
1.5.1 Límites	8
1.5.2 Alcance del Proyecto	8
Capítulo 2 Marco Teórico	10
2.1.1 El cable par trenzado	11
2.1.2 Cable de Par Trenzado sin Blindaje (UTP)	12
2.2 Cable Coaxial.....	13
2.2.1 Breve Historia.....	13
2.2.2 Usos de los cables coaxiales.....	13
2.2.3 Partes del cable coaxial.....	14

2.2.3.1	Cubierta Plástica (Chaqueta)	15
2.2.3.2	Escudo de aluminio (blindaje)	15
2.2.3.3	Blindaje Trenzado.....	16
2.2.4	Impedancia.....	16
2.3	Fibra Óptica.....	18
2.3.1	Composición de la F.O.	19
2.3.2	Partes de la Fibra óptica.....	20
2.3.3	Principios de Funcionamiento	21
2.3.3.1	Ley de Reflexión	21
2.3.3.2	Ley Refracción y ley de Snell.....	22
2.3.3.3	Atenuación en las fibras ópticas y ventanas de trabajo.....	27
2.3.4	Tipos de Dispersión en F.O.	30
2.3.4.1	Dispersión modal.....	30
2.3.4.2	Dispersión cromática.....	31
2.3.4.3	Dispersión del modo de polarización.....	32
2.3.5	Fibras ópticas Multimodo y Fibras ópticas Monomodo.....	33
2.3.5.1	Fibra Óptica Monomodo	35
2.3.5.2	Fibra Óptica Multimodo.....	36
2.3.6	Espectro Electromagnético.....	37
2.3.7	Ventajas de la fibra óptica.	38
2.3.8	Desventajas de la fibra óptica.....	39
2.3.9	Conectores de fibra óptica.	39
2.3.9.1	Conector de fibra óptica SC.....	41
2.3.9.2	Conector de fibra óptica LC.....	41
2.3.9.3	Conector de fibra óptica FC.....	41
2.3.9.4	Conector de fibra óptica ST.....	42
2.4	Técnicas de multiplexación.....	42
2.4.1	FDMA.....	43
2.4.2	TDMA.....	43
2.4.3	CDMA.....	44
2.4.4	OFDM.....	44
2.4.4.1	Característica Principal de OFDM.....	45

2.5	Redes Home Plug.....	47
2.6	Estándar IEEE 1901.....	49
2.7	Redes HFC.....	51
2.7.1	Introducción.....	51
2.7.2	Evolución de Redes HFC de una a dos Vías.....	55
2.7.3	Ancho de Banda Retorno y Forward.....	56
2.7.4	La Fibra Óptica en las redes HFC.....	56
2.8	Redes de Fibra Óptica.....	58
2.8.1	Redes FTTx.....	59
2.8.1.1	FTTN Fiber to the Node.....	59
2.8.1.2	FTTC Fiber to the Cabinet.....	60
2.8.1.3	FTTB Fiber to the Building.....	61
2.8.1.4	FTTH Fiber to the Home.....	62
2.8.1.5	FTTA Fiber to the Antenna.....	62
2.9	Redes Ópticas Pasivas.....	63
2.9.1	Introducción a las tecnologías PON.....	63
2.9.2	Redes ópticas pasivas (PON).....	63
2.9.3	Redes ópticas pasivas Gigabit (GPON).....	64
2.9.4	Componentes de una red GPON.....	65
2.9.4.1	OLT (Optical Line Terminal).....	65
2.9.4.2	Distribuidor de Fibra Óptica (ODF).....	67
2.9.4.3	Splitter.....	67
2.9.4.4	Fiber Distribution Box (Caja de Empalme).....	69
2.9.4.5	Fiber Outlet Box.....	69
2.9.4.6	Cajas NAP.....	69
2.9.4.7	Optical Network Terminal.....	70
2.10	Análisis del Sistema EoC.....	70
2.10.1	Introducción.....	70
2.10.2	Sistema EoC.....	71
2.10.3	Características.....	72
2.10.4	Nodo Maestro EoC.....	74

2.10.4.1	El Módulo Maestro.....	76
2.10.4.2	El módulo OR.....	76
2.10.4.3	El módulo ONU.....	76
2.10.5	Equipo de Usuario Terminal EoC (Esclavo).....	77
2.10.6	Funcionamiento.....	79
2.10.7	Integración de Redes EoC - FTTH.....	82
2.10.8	Puntos destacados.....	85
2.10.9	EoC Vs CMTS/ DOCIS.....	86
2.10.10	Ventajas.....	87
Capítulo 3	Desarrollo del Proyecto	89
3.1	Consideraciones Iniciales.....	89
3.1.1	Topologías de las redes HFC COTEL.....	89
3.1.1.1	Topología árbol Rama.....	89
3.1.1.2	Topología Blaster.....	90
3.1.2	Nodo Óptico CATV.....	91
3.1.3	Amplificador BTD.....	92
3.1.4	Amplificador Mini Bridge.....	93
3.1.5	Amplificador LE (Line Extender).....	94
3.1.6	Componentes Pasivos.....	95
3.1.6.1	Acoplador Direccional.....	95
3.1.6.2	Splitter ó Divisores.....	96
3.1.6.3	Tap's.....	96
3.2	Integración EoC Redes HFC.....	97
3.2.1	Modos de Integración Estándar.....	97
3.3	Integración EoC a redes CATV de COTEL R.L.	99
3.3.1	Análisis Previo.....	99
3.3.2	Propuesta de Solución.....	102
2.1.1.1	Modos de integración EoC en Nodos CATV.....	104
3.3.3	Integración EoC en Amplificadores de la red HFC.....	108

3.3.4	Integración EoC en Red Coaxial.....	113
Capítulo 4. Ingeniería del Proyecto.....		117
4.1	Cobertura de redes HFC Cotel R.L.....	117
4.2	Delimitación de Zonas Proyectadas.....	118
4.2.1	Zona Pacajes Caluyo.....	118
4.2.2	Zona 16 de Julio (El Alto).....	119
4.3	Información Poblacional La Paz.....	120
4.3.1	Densidad Poblacional de Ciudades más Relevantes Dpto. de La Paz.....	120
4.4	Análisis de Mercado Internet Fijo.....	121
4.5	Velocidades necesarias para Video y conferencias.....	123
4.6	Estudio de Mercado.....	124
4.7	Planes Comerciales Propuestos.....	129
4.8	Asignación de Ancho de banda.....	130
4.8.1	Overbooking (Reúso de ancho de Banda).....	130
4.8.2	CIR (Committed Information Rate).....	131
4.8.3	MIR (Maximum Information Rate).....	131
4.8.4	Cálculo de Ancho de banda.....	131
4.9	Presupuesto óptico (EoC).....	134
4.10	Sistema de Gestión EoC.....	138
4.10.1	Administración Master EoC.....	141
4.10.2	Administración terminal de usuario EoC.....	143
4.10.3	Certificación Red HFC Sistema EoC.....	145
4.11	Cronograma de Actividades.....	146
Capítulo 5 Análisis Económico del Proyecto.....		148
5.1	Introducción.....	148

5.2	Análisis de Costos de Inversión (CAPEX).	149
5.3	Análisis de Costos de Operación (OPEX).	155
5.4	Análisis de Ingresos y Egresos Anuales.	157
5.4.1	Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).....	158
5.4.2	Valor Actual Neto (VAN).....	159
5.4.3	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	160
5.5	Análisis Económico.	161
5.5.1	Cálculo de VAN Proyecto EoC.	164
5.5.2	Cálculo de TIR de Proyecto EoC.....	166
5.5.3	Cálculo del PRI.....	166
Capítulo 6 Conclusiones y Sugerencias		168
6.1	Conclusiones.	168
6.1.1	Generales.	168
6.1.2	Aportes Personales	169
6.2	Sugerencias.	170
Capítulo 7 Referencias Bibliográficas		172

Índice de Figuras

Figura 1.1: Ingresos de COTEL R.L. Recaudados de 2017 a 2022	5
Figura 1.2: Comportamiento de Abonados Facturados de los servicios de COTEL R.L....	6
Figura 2.1: Inserción de Ruido en Líneas Paralelas	12
Figura 2.2 Respuesta al Ruido en Líneas Entorchadas.....	12
Figura 2.3 Par Trenzado	13
Figura 2.4: Partes de Cable Coaxial	15
Figura 2.5: Dimensiones de Cable Coaxial	17
Figura 2.6: Pares de la Fibra Óptica	20
Figura 2.7: Reflexión de La Luz.....	22
Figura 2.8: Refracción de la Luz	23
Figura 2.9: Refracción de la Luz - Ley de Snell.....	23
Figura 2.10: Ejemplo de Ley de la Ley de Snell	24
Figura 2.11 Angulo Critico.....	25
Figura 2.12 Reflexión Total.....	26
Figura 2.13: Reflexión en Fibra Óptica.....	26
Figura 2.14 Atenuación en F.O. por Causas Intrínsecas	28
Figura 2.15: Atenuación de F.O. Por Causas Extrínsecas	29
Figura 2.16: Ventanas de Transmisión en F.O.	30
Figura 2.17: Dispersión Modal.....	31
Figura 2.18: Dispersión Cromática.....	32
Figura 2.19: Dispersión de Modo de Polarización	33
Figura 2.20 : Fibras Multimodo y Monomodo	34

Figura 2.21: Transmisión en fibras Monomodo y Multimodo	34
Figura 2.22: Multiplexación de servicios mediante F.O.	35
Figura 2.23: Espectro Electromagnético	38
Figura 2.24: Conectores de Fibra Óptica.....	40
Figura 2.25: Multiplexación de Datos	43
Figura 2.26: Portadoras en Esquema OFDM.....	45
Figura 2.27: Representación Temporal y Espectral sub portadora OFDM	45
Figura 2.28: Uso de Redes Home Plug en Difusión de Datos sobre redes Eléctricas	47
Figura 2.29: Uso de redes Home Plug.....	48
Figura 2.30: Principios de Redes HFC	52
Figura 2.31: Red Catv.....	53
Figura 2.32: Arquitectura de una Red HFC Bidireccional	55
Figura 2.33: Canal de Retorno y Forward	56
Figura 2.34: F.O. En Redes HFC.....	58
Figura 2.35: Arquitectura Fibra Hasta el Nodo	60
Figura 2.36: Arquitectura Fibra Hasta la Acera (Gabinete)	61
Figura 2.37: Arquitectura Fibra Hasta el Edificio	61
Figura 2.38: Arquitectura Fibra Hasta el Domicilio	62
Figura 2.39: Arquitectura Fibra Hasta la Antena	63
Figura 2.40: Red Óptica Pasiva	65
Figura 2.41: OLT de Distintas Capacidades.....	66
Figura 2.42: Distribuidores de Fibra Óptica	67
Figura 2.43: Splitter Ópticos	68

Figura 2.44: Cajas de Empalmes Ópticos (Mufas).....	69
Figura 2.45: Roseta Optica	69
Figura 2.46: Caja NAP	70
Figura 2.47: Equipo Terminal de Usuario ONT	70
Figura 2.48: Componentes Nodo Master EoC.....	77
Figura 2.49: Uso de Conversor de Medios como Plataforma de transporte de Datos.....	80
Figura 2.50: Conversores de medios de 1 y 2 hilos de Fibra.....	81
Figura 2.51: Uso de OLT como Plataforma de transporte de Datos	81
Figura 2.52: Longitudes de onda por un Pelo de F.O. y sus Funciones	83
Figura 2.53: Integración EoC, GPON y HFC.....	84
Figura 3.1: Topología Árbol Rama.....	89
Figura 3.2: Topología Blaster	90
Figura 3.3: Nodo Optico Scientific Atlanta.....	91
Figura 3.4: Simbología Nodo Óptico	92
Figura 3.5: Simbología Amplificador Troncal BTB	93
Figura 3.6: Fotografía Amplificador BTB	93
Figura 3.7: Fotografía Amplificador Mini Bridge.....	94
Figura 3.8: Fotografía Amplificador Line Extender.....	95
Figura 3.9: Símbolo Acoplador Direccional.....	96
Figura 3.10: Simbología y atenuaciones de Splitter 2 y 4 Vías.....	96
Figura 3.11: Taps de Linea de Exterior	97
Figura 3.12: Tipos Configuraciones de Integración EoC	98
Figura 3.13: Ganancia de Señal CATV Nodo EoC	100

Figura 3.14: Ganancia de Señal CATV Nodo Scientific Atlanta	100
Figura 3.15: Respuesta en Frecuencia Señales CATV	101
Figura 3.16: Solución EoC para 4 Puertos CATV.....	102
Figura 3.17: Fotografía Nodo Scientific Atlanta en redes HFC de COTEL R.L	103
Figura 3.18: Espacio en Nodo COTEL Scientific Atlanta	103
Figura 3.19: Circuito Nodo Scientific Atlanta.....	106
Figura 3.20: Integración EoC a Nodo Bidireccional COTEL R.L.	107
Figura 3.21: Integración EoC a Nodos Unidireccionales COTEL R.L.	108
Figura 3.22: Modos de Integración EoC en Nodos CATV	104
Figura 3.23: Sumatoria de Señal de Datos EoC y CATV	105
Figura 3.24: Circuito Amplificador BT Motorola.....	109
Figura 3.25: Filtros Diplexores en amplificadores CATV	111
Figura 3.26: Diagrama en Bloques Amplificadores CATV	111
Figura 3.27: Modificación Amplificadores CATV para habilitar EoC.....	112
Figura 3.28: Presupuesto EoC	113
Figura 3.29: Grafica de un segmento de red de NODO CATV Cotel R.L.....	114
Figura 3.30: Atenuaciones en instalación de Usuarios EoC.....	115
Figura 3.31: Resultado de la integración de Redes HFC de COTEL al sistema EoC.....	116
Figura 4.1: Proyección de Cobertura EoC Zona Pacajes Caluyo	118
Figura 4.2: Proyección de Cobertura EoC en Zona 16 de Julio	119
Figura 4.1 Evolución de Conexiones a Internet Fijo.....	121
Figura 4.2: Penetración -Conexiones Internet Fijo por Familia y por Departamento	122
Figura 4.3: Encuesta “Internet en tu hogar”	124

Figura 4.4 Preguntas encuesta de estudio de mercado	125
Figura 4.5 Resultados a encuesta.....	126
Figura 4.6: Topología Red de Transporte de Datos EoC en Base a OLT GPON	136
Figura 4.7: Sistema de Gestión EoC.....	138
Figura 4.8: Configuración pool de IP Servidor PPPoE	139
Figura 4.9: Creación de servidor PPPoE	139
Figura 4.10 Creación de “Profile”	140
Figura 4.11: Creación de cuenta PPPoE	140
Figura 4.12: Limitación de Ancho de Banda.....	141
Figura 4.13: Ingreso a Interface WEB Master EoC.....	141
Figure 4.14: Interface WEB Master EoC	142
Figura 4.15: Interface WEB EoC	142
Figura 4.16 Pagina inicio Esclavo EoC	143
Figura 4.17: Configuración sesión PPPoE en Terminal EoC.....	144
Figura 4.18: Niveles de Certificación EoC en Terminal CPE (Esclavo EoC)	144
Figura 5.3: Asignación de hilos de F.O. Nodos CATV a EoC.....	154

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Índices de Refracción de Algunos Sólidos y Líquidos.....	27
Tabla 2.2: Intervalo de Frecuencias.....	37
Tabla 2.3: Niveles de Potencia Óptica Registrados en la red FTTH de COTEL	66
Tabla 2.4: Relación de Atenuaciones de Splitter.....	68
Tabla 2.5: Características Técnicas del Nodo EoC Master Todo en Uno	74
Tabla 2.6: Características Técnicas Cable Modem EoC Slave	78
Tabla 2.7: Tecnología EoC Vs CMTS.....	87
Tabla 3.1:Atenuacion en boca de Tap Inicial y Final.....	114
Tabla 4.1: Densidad poblacional de Municipios del Departamento de La Paz	120
Tabla 4.2: Relación de Velocidad Recomendada por Formato de Video	123
Tabla 4.3: Velocidad de datos para conferencias Telefónicas.....	123
Tabla 4.4: Planes de Velocidad Propuestos.....	130
Tabla 4.5: Ancho de Banda Requerido para Planes de Internet Propuesto	133
Tabla 4.6: Parámetros para Certificar una Red FTTH GPON de COTEL R.L.	135
Tabla 4.7:Presupuesto Óptico Enlace, Central OCT - Nodo 282 EAL	136
Tabla 4.8: Presupuesto Óptico enlace Central OCT - Nodo 4 EAL.....	137
Tabla 4.9: Valores Máximos y Mínimos en la certificación EoC.	145
Tabla 4.10: Cronograma de Actividades Integración EoC.....	146
Tabla 5.1: Costos Estimados Equipos Activos con OLT	150
Tabla 5.2: Costos Estimados Equipos Activos con CM.....	150
Tabla 5.3: Precios estimados Equipos Pasivos.....	151
Tabla 5.4: Presupuesto Red HFC, COTEL R.L.	152

Tabla 5.5:CAPEX de material necesario para la instalación de Red EoC	153
Tabla 5.6: Costos de Instalación Usuario EoC.....	155
Tabla 5.7: Costos de Operación (OPEX).....	156
Tabla 5.8 Precios de recaudación mensual aproximada	161
Tabla 5.9: Flujo de CAJA (Egresos e Ingresos) anuales	163
Tabla 5.10: Resumen de Ganancias Anuales.....	164
Tabla 5.11: Proyección de Saldo Actualizado.....	165
Tabla 5.12: Costos de Inversión para ampliaciones EoC	167

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1: Ecuación de Impedancia Linea Coaxial	16
Ecuación 2.2: Ecuacion Ley de Snell	24
Ecuación 5.1: Formula para cálculo del PRI	158
Ecuación 5.2: Formula para el cálculo del VAN.....	159
Ecuación 5.3: Fórmula de cálculo de TIR.....	161

Dedicatoria

A mis padres, especialmente a mi padre Julio Alanoca, ya que, gracias a su ejemplo de trabajo y constancia, me enseñó a afrontar las dificultades de la vida, tengo fe y esperanza que al encontrarnos más allá del Sol en la presencia del creador reciba con alegría la noticia de haber culminado la carrera de Ingeniería.

Asimismo, quiero dedicar este Logro a mis hijos que son el motor en mi vida, que tengan presente que nada es imposible aun a pesar de las adversidades “Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” (Filipenses 4:13)

Agradecimiento

Agradezco a Dios Todo poderoso que me guardo de todo mal encaminando mi vida por sendas que nunca habría imaginado.

A todas las personas que confiaron en mí y me dieron una palabra de aliento.

A la Universidad Mayor de San Andres que por medio de su facultad de Ingeniería forjo los conocimientos que lograron mi especializaron en la carrera que tanto quiero.

A los Docentes que supieron transmitir sus enseñanzas y experiencias con un sinfín de metodologías adecuadas a la realidad de su alumnado.

Resumen.

Hoy en día, luego de que la humanidad atravesó una pandemia por el COVID-19 donde nos vimos obligados a un confinamiento rígido, comprendemos que el acceso a servicios tecnológicos que nos permitan estar interconectarnos asumen una notoria relevancia, siendo uno de los más destacados el acceso a la red de internet, debido a que a través de este medio es posible establecer plataformas educativas, informativas, laborales y de entretenimiento; sin embargo, gracias a estos acontecimientos se pudo evidenciar que particularmente las Ciudades de La Paz y El Alto, no cuentan con la infraestructura que permita afrontar este desafío Tecnológico.

Asimismo, según los datos de la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes ATT, el 90% de los usuarios de internet en Bolivia acceden a este servicio mediante Internet Móvil, siendo los proveedores más destacados Entel, Tigo y Viva; no obstante, factores como la limitación de Megas, la baja velocidad de transferencia de datos por factores climáticos o potencias bajas en zonas periurbanas, hace que se consideren otras opciones de acceso, como las Instalaciones Fijas.

En consecuencia, COTEL R.L. tiene una gran oportunidad para asumir un papel protagónico en el aprovisionamiento de servicios de Internet Fijo, pero, actualmente esta empresa atraviesa una situación económica crítica, lo que le impide realizar un cambio tecnológico (Fibra óptica) a gran escala, en ese sentido el presente proyecto propone utilizar la red HFC que COTEL utiliza para el servicio de CATV; para brindar el servicio de Internet, empleando la tecnología EoC.

La integración del sistema EoC sobre redes de CATV existentes, permitiría que COTEL incremente su oferta de Internet con un mayor ancho de banda, reduciendo costos en infraestructura de planta externa logrando despliegues rápidos y masivos, asimismo, debido a que la tecnología EoC utiliza el sistema GPON para transporte de datos, la distribución de internet podrá realizarse de manera híbrida coaxial (EoC) y Fibra Óptica (GPON) llegando a ser una antesala a redes FTTH.

Abstract.

Nowadays, after humanity had to go through a pandemic that forced it into confinement due to COVID 19, we understand that access to technological services that help interconnect us through the Internet network assume notable relevance, not only because of the content. entertainment, but to establish an educational, informative and labor platform; However, thanks to these events it was evident that, in particular, the Cities of La Paz and El Alto, do not have the technological infrastructure to face this challenge.

Likewise, according to data from the Telecommunications and Transportation Regulation and Supervision Authority ATT, 90% of Internet users in Bolivia access this service through Mobile Internet, the most prominent providers being Entel, Tigo and Viva; However, factors such as the limitation of Megas, the low speed of data transfer due to climatic factors or low powers in peri-urban areas, mean that other access options are considered, such as Fixed Installations.

Consequently, COTEL R.L. has a great opportunity to assume a leading role in the provision of Fixed Internet services, but currently this company is going through a critical economic situation, which prevents it from making a technological change (Fiber optics) on a large scale, in that sense the present project proposes to use the HFC network that COTEL currently uses to provide the CATV service, to provide the Internet service using EoC technology.

The integration of the EoC system on existing CATV networks will allow COTEL to increase the Internet offer with greater bandwidth, reducing costs in external plant infrastructure, achieving rapid and massive deployments, also, because the EoC technology uses the system GPON for data transport, internet distribution can be carried out in a hybrid coaxial (EoC) and Fiber Optic (GPON) manner, becoming a prelude to FTTH networks.

Capítulo 1 Aspectos Generales

1.1 Antecedentes.

Debido a la demanda progresiva del acceso a Internet, por parte de socios y usuarios en las ciudades de La Paz y El Alto, COTEL R.L., comienza a brindar el servicio de Internet Dial-Up a partir del año 2003. Posteriormente, en 2005, lanza el servicio de Internet ADSL¹ (Historia – COTEL R.L. (s/f) [1]).

A partir de febrero de 2006, COTEL inicia el servicio de televisión por cable bajo la marca Cotel TV, con una oferta inicial de 75 canales, implementando 88 nodos HFC bidireccionales en zonas de La Paz y El Alto, promocionando el paquete **Triple play** que fusiona los servicios de CATV, Internet y telefonía; Bajo la norma Docsis 2.0 el sistema es capaz de brindar velocidades de transferencia de datos de hasta 128 kbps.

En el año 2007 por disposición de sus autoridades de turno Cotel hace la compra de la empresa de Televisión por Cable “SUPER CANAL”, que presta servicios de CATV² sobre redes HFC unidireccionales, las mismas no pueden proveer el paquete Triple Play, por lo que Cotel asume desde ese entonces la responsabilidad de integrar esta tecnología a la red COTEL TV

Hoy en día Cotel tiene un gran despliegue de Redes HFC³ en las Zonas de La Paz y El Alto, siendo la ciudad de Viacha la última en integrarse a Cotel TV, sin embargo, solo un 40 % de total de los Nodos instalados son capaces de proveer servicios de Internet⁴

¹ De las siglas en inglés Asymmetric Digital Subscriber List que traduce Línea de Abonado Digital Asimétrica)

² Antena Común de Televisión

³ Hibrido de Fibra y Coaxial

⁴ Dato suministrado por el departamento de Redes y Servicios de COTEL

1.2 Planteamiento del Problema.

La Cooperativa de Telecomunicaciones, COTEL R.L., necesita replantear su oferta de acceso a la red de Internet, debido a la necesidad imperativa de socios y usuarios de contar con una mayor velocidad en la transferencia de datos.

Hoy en día, la demanda de ancho de banda supera los 10 Mbps⁵ (y va en aumento), por lo que COTEL tiene la necesidad de mejorar la calidad y precio del servicio de Internet que ofrece para mantener y obtener nuevos usuarios. Sin embargo, con la tecnología de redes de acceso XDSL y HFC que tiene en operación, no es capaz de satisfacer esta demanda, lo que ocasiona la deserción y retiro paulatino de usuarios.

Asimismo, COTEL registra un déficit financiero que viene arrastrando varias gestiones pasadas, lo que impide plantear una migración tecnológica a gran escala.

1.3 Objetivos.

El presente proyecto asume los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema que permita proveer servicios de internet de alta velocidad a socios y usuarios de la Cooperativa de Telecomunicaciones La Paz R.L. a través de redes HFC (Híbrido Fiber Coaxial), mediante la tecnología EoC, en Nodos CATV de la ciudad de El Alto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer parámetros que permitan integrar el sistema EOC (Ethernet Over Coaxial), a la red coaxial existente de COTEL, sin realizar modificaciones importantes en la red HFC.

⁵ Mega bit por segundo (un millón de bits por segundo)

- Estudio y análisis de la tecnología EoC (Ethernet Over Coaxial) implementada sobre redes HFC, topologías, arquitectura, espectro de frecuencias, modulación, velocidad de transmisión de datos.
- Planificar un sistema Gpon como plataforma de transporte de datos del sistema EoC, con backhaul (canal de transmisión) de conexión de internet hasta el nodo EoC, preparando una antesala para una red FTTH⁶.
- Evaluar la arquitectura Árbol Rama y Blaster de la red HFC unidireccional y Bidireccional de COTEL, analizando la factibilidad de la implementación de la tecnología EoC en dichas arquitecturas.
- Maximizar la capacidad de usuarios en un puerto PON⁷ a través de la integración de módulos maestro EoC.
- Evaluar las áreas de servicio de Planta Externa HFC de la ciudad de El Alto en las que es factible implementar el acceso EoC.
- Evaluar la factibilidad económica Costo beneficio del sistema.

1.4 Justificación

1.4.1 Social

De acuerdo con las políticas en telecomunicaciones que asume el Estado Plurinacional de Bolivia, se establece que los bolivianos tienen derecho a calidad y diversidad en opciones de acceso a tecnologías de Información y Comunicación. En vista de ello, el acceso a las telecomunicaciones es un derecho que tiene cada boliviano(a). por lo que sociedad en su

⁶ Fiber to the home (fibra hasta el hogar)

⁷ PON abreviación que se le la a Red Optica Pasiva

conjunto, demanda varios servicios de mejor calidad, buena atención al cliente y nuevas alternativas tecnológicas.

En el año 2020 el mundo entero enfrentó la pandemia causada por el coronavirus Covid-19, y con el fin de reducir la propagación de este mal, los gobiernos del mundo asumieron políticas de confinamiento, por lo que, desde marzo de ese mismo año, el gobierno boliviano asume cuarentenas rígidas en todo el territorio Nacional, esto obliga a implementar sistemas de comunicación a distancia, para evitar la aglomeración de personas, mediante la implementación de Teletrabajo y Tele educación.(Peñaranda, 2020 [7]).

Sin embargo, esto puso en evidencia que en nuestro país no todos cuentan con el acceso a internet y aquellos que gozan de este servicio denuncian que, con relación a países vecinos, las velocidades de transferencia de datos son bajas, y los precios elevados (*Infraestructura de Telecomunicaciones y TIC en BOLIVIA*, 2016) [56].

1.4.2 Económica

El factor económico es fundamental al momento de implementar cualquier iniciativa tecnológica, ya que de esto depende el éxito o fracaso del proyecto, por lo que el costo final del mismo debe estar acorde a la realidad económica de la empresa y del usuario, debiendo lograr un análisis costo beneficio⁸, para que la implementación de red de acceso sea factible.

Conforme a datos suministrados por la Gerencia de Planificación de COTEL R.L. esta institución atraviesa una situación económica crítica, ya que en los últimos 8 años ha tenido una

⁸ Relación de los costos de inversión y los beneficios que conllevará dicha inversión (no siempre pueden medirse en valor monetario).

baja en los ingresos recaudados por los servicios de Telefonía, CATV e Internet, como se refleja en la figura 1.1.

Figura 1.1: Ingresos de COTEL Recaudados de 2017 a 2022

Fuente: Gerencia de Planificación COTEL R.L.



Los ingresos RECAUDADOS por la explotación de los servicios de COTEL R.L. han disminuido de Bs 28.6 millones (2017) a 9.8 millones (2022) alcanzando una disminución de Bs. 18.7 millones⁹

En consecuencia, es evidente que COTEL no cuenta con los recursos necesarios para un cambio tecnológico masivo a redes FTTH, por lo que se ve obligado a tomar alternativas que logren brindar valor agregado a los servicios que actualmente ofrece.

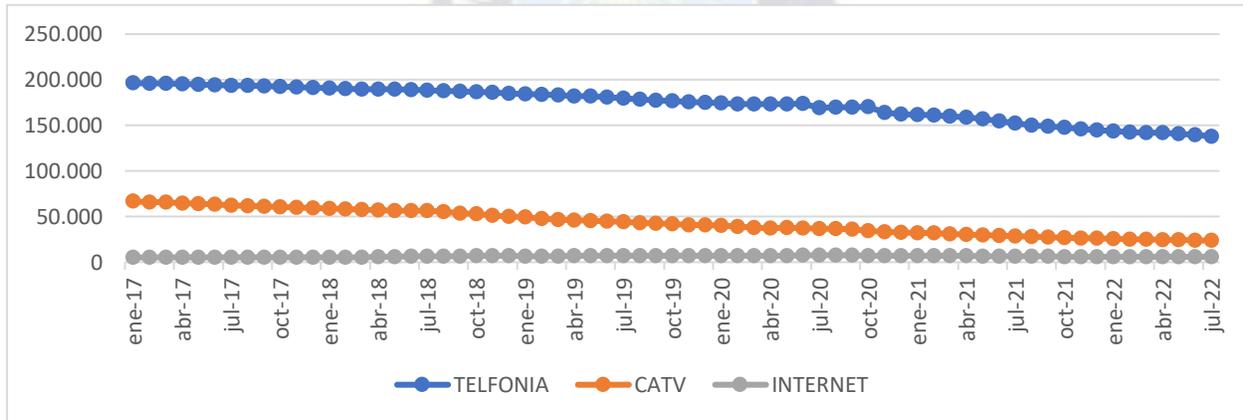
⁹ Datos suministrados por la Gerencia de Planificación de COTEL R.L.

Conforme a los datos suministrados por la Gerencia de Planificación de COTEL R.L. reflejados en la figura 1.2 la cantidad de usuarios a enero del 2017 es de 5.259 y para julio del 2022 es de 5.952 usuarios¹⁰, evidenciando que el un crecimiento del servicio de internet es bajo.

Se pueden argumentar varios factores sin embargo es indudable que uno de ellos es la falta de inversión en tecnologías de acceso que permitan el aprovisionamiento de mayores anchos de banda de manera masiva.

Figura 1.2: Comportamiento de Abonados Facturados de los servicios de COTEL R.L. Gestiones 2017 a 2022

Fuente: Datos Suministrados por Gerencia de Planificación COTEL R.L.



Asimismo, es necesario indicar que la inversión promedio para la implantación de un nodo HFC con una capacidad aproximada de 550 casas pasadas que COTEL ha realizado es de 70.000 dólares americanos (setenta mil 00/100 \$us) ¹¹, y multiplicado a los más de 200 Nodos existentes, la inversión supera los 14 millones de Dólares americanos por lo que es preciso reconsiderar un retiro abrupto de estas redes, además, para realizar un cambio tecnológico a más

¹⁰ Dato suministrado por la Gerencia de Planificación COTEL R.L.

¹¹ Entrevista con Ing. Alfredo Santander, Ingeniero de Planta Externa COTEL R.L.

de 23 mil usuarios CATV que actualmente cuenta, se requiere una inversión adicional considerable.

El presente proyecto propone que Cotel pueda aprovechar la red HFC con la que actualmente cuenta para proveer el servicio de internet de alta velocidad gracias a la tecnología EoC, esto lograría atraer nuevos usuarios con inversiones mínimas, que resultará en la percepción mejores ingresos, mismos que deberían ser orientados en la migración paulatina a otro tipo de tecnología (FTTH).

1.4.3 Técnica.

COTEL R.L., cuenta con redes HFC desplegadas en más de 208 Nodos en las ciudades de La Paz, El Alto, Viacha y Mecapaca,¹² menos de la mitad de estas redes están habilitadas para el aprovisionamiento de datos, sobre la base de la Norma Docsis 2.0, y debido a la falta de inversión en actualizaciones¹³ solo es posible brindar un máximo de 5 Mbps.

La actualización de esta tecnología a un estándar Docsis 3.0 o Docsis 3.1, conlleva una reingeniería de la arquitectura actual de los Nodos que comprenden dichas redes, debido a que los amplificadores en cascada incrementan el SNR (Relación Señal Ruido) en el sistema, se recomienda una topología N+1, asimismo, un estándar Docis 3.1 establece la ampliación del ancho de banda en sus equipos activos (Amplificadores y Nodos), en Downstream a 1 Ghz y Upstream superior a 60 MHz.

COTEL R.L. a diferencia de otros operadores en el mercado, posee postación propia y canalizaciones por donde se realizan las interconexiones desde los hubs hacia los Nodos CATV

¹² Dato otorgado por el departamento de Redes y Servicios COTEL R.L.

¹³ El sistema DOCSIS tiene ha evolucionado a Docsis 3.0, Docsis 3.1 y actualmente el Docsis 4.0.

mediante Fibra óptica, este aspecto hace posible la implementación rápida de soluciones que incrementen sus ingresos a mayor escala.

La Tecnología EoC (Ethernet Over Coaxial) reutiliza las redes existentes sin la necesidad de modificaciones importantes en la arquitectura actual de nodos HFC, por lo que constituye una alternativa para proveer internet con la inversión mínima.

1.5 Límites y Alcances del Proyecto.

1.5.1 Límites.

El diseño de un sistema (EoC) en base a otro sistema ya existente (HFC), implica que la zona de cobertura (casas pasadas) no podrá ser modificada, debido a que esta ya habría sido definida por estudios previos en el diseño de la red CATV, por lo que no se realizarán estudios para la modificación de dicha cobertura.

No se realizará flujograma del proceso de ventas, inscripción de usuarios, atención de fallas y registro; asimismo, se hará énfasis en el proceso de integración de la red HFC al sistema EoC.

Asimismo, la administración y gestión de equipos tales como OLT, router y servidores, para el aprovisionamiento del servicio de internet no será analizado de forma detallada.

1.5.2 Alcance del Proyecto.

Se realizará un estudio para la integración de la tecnología EoC en los Nodos CATV 5-EAL (Red Bidireccional) de la Zona 16 de Julio y CATV 282-EAL (Red Unidireccional) de la Zona Pacajes Caluyo, ubicados en el municipio de la ciudad de El Alto, estas redes proveen el servicio de televisión por cable en los paquetes “A” y “B” respectivamente sintonizados a 860 MHz. (paquete A) y 450 MHz (paquete B).

El análisis para la implementación del sistema EoC en un nodo Unidireccional y otro Bidireccional, que será descrito en el presente proyecto podrá ser utilizado como base para la habilitación del resto de nodos CATV que cuenta COTEL R.L.



2.1 Medios de transmisión Guiados.

Un medio de transmisión se constituye en el canal que permite el intercambio de información entre dos terminales de un sistema. Las transmisiones se realizan habitualmente empleando ondas electromagnéticas que se propagan a través del canal.

A veces el canal es un medio físico y otras veces no, ya que las ondas electromagnéticas son susceptibles de ser transmitidas por el vacío.

Los medios de transmisión guiados están constituidos por un cable que se encarga de la conducción de las señales desde un extremo al otro. “Una línea de transmisión consiste de dos o más conductores separados por un aislador” (Tomasi,2003, p.310 [3]).

Las principales características de los medios guiados son el tipo de conductor utilizado, la velocidad máxima de transmisión, las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, la facilidad de instalación y la capacidad de soportar diferentes tecnologías de nivel de enlace.

La velocidad de transmisión depende directamente de la distancia entre los terminales, y de si el medio se utiliza para realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto. Debido a esto los diferentes medios de transmisión tendrán diferentes velocidades de conexión que se adaptarán a utilizaciones dispares. Dentro de los medios de transmisión guiados, los más utilizados en el campo de las comunicaciones y la interconexión de computadoras son:

- Par trenzado
- Cable Coaxial
- Fibra óptica

2.1.1 El cable par trenzado.

Cuenta con dos conductores eléctricos aislados y entrelazados que anulan las interferencias de fuentes externas y la diafonía en los cables adyacentes.

El cable par trenzado cuenta con grupos de hilos que se entrelazan en pares de forma helicoidal. Esto se consigue porque dos alambres en paralelo van a constituir una antena simple. Si se entrelazan de modo helicoidal, esas ondas se cancelan, así que la interferencia que se produce es reducida y la transmisión de datos es mejor.

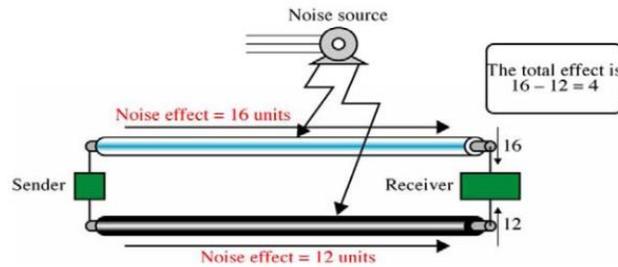
Tomasi (2003) [3], indica que las constantes a ser tomadas para este tipo de medio de transmisión son: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia (p.316).

El cable par trenzado sirve para anular o disminuir las interferencias, mejorando la transmisión de datos, en otras palabras, para las telecomunicaciones implica una gran ventaja, porque hace que la calidad del envío y recepción de datos mantenga una alta calidad o que se reduzca al máximo todo aquello que pueda interferir. Para ello se vale del entrelazamiento de dos aisladores, decreciendo la diafonía y aumentando la potencia.

En el pasado se usaron dos cables planos paralelos para la comunicación. Sin embargo, la interferencia electromagnética de dispositivos tales como motores podía originar ruidos en los cables. Si los dos cables son paralelos, el cable más cercano a la fuente de ruido tiene más interferencia y termina con un nivel de tensión más alto que el cable que está más lejos, lo que da como resultado cargas distintas y una señal dañada, tal como lo muestra la imagen de la Figura 2.1.

Figura 2.1: Inserción de Ruido en Líneas Paralelas

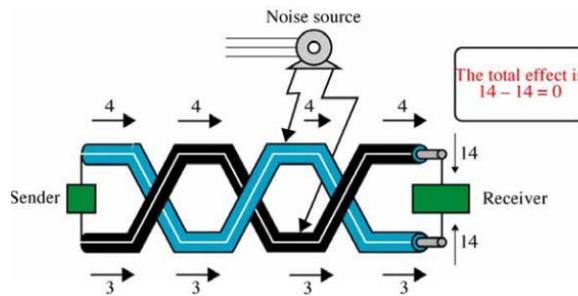
Fuente: *Especificaciones técnicas cables UTP y coaxial*. (2016, noviembre 17). studylib.es. <https://studylib.es/doc/6618718/especificaciones-t%C3%A9cnicas-cables-utp-y-coaxial> [4]



En la publicación, *Especificaciones técnicas cables UTP y coaxial* (2016) [4], señala que “una forma de disminuir significativamente el ruido de líneas paralelas eléctricas es trenzando los pares en intervalos entre 4 a 70 torsiones por metro” este proceso representado en la figura 2.2, intercala la exposición al ruido equilibrando este por lo que la diferencia de ambos teóricamente es cero.

Figura 2.2 Respuesta al Ruido en Líneas Entorchadas

Fuente: *Especificaciones técnicas cables UTP y coaxial*. (2016, noviembre 17). studylib.es. <https://studylib.es/doc/6618718/especificaciones-t%C3%A9cnicas-cables-utp-y-coaxial> [4]

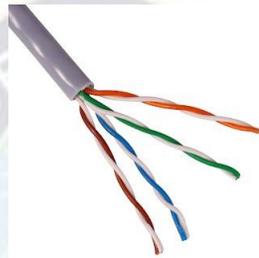


2.1.2 Cable de Par Trenzado sin Blindaje (UTP).

El cable de par trenzado sin blindaje (UTP, Unshielded Twisted Pair) es el tipo más frecuente de medio de comunicación que se usa actualmente. Aunque es el más familiar por su uso en los sistemas telefónicos, su rango de frecuencia es adecuado para transmitir tanto datos como

voz. Un par trenzado está formado por dos conductores (habitualmente de cobre), cada uno con su aislamiento de plástico de color. El aislamiento de plástico tiene un color asignado a cada banda para su identificación. Los colores se usan tanto para identificar los hilos específicos de un cable como para indicar qué cables pertenecen a un par y cómo se relacionan con los otros pares de un manojo de cables.

Figura 2.3 Par Trenzado



2.2 Cable Coaxial.

2.2.1 Breve Historia.

El cable coaxial fue inventado en 1880 por el ingeniero y matemático inglés Oliver Heaviside, quien patentó el invento y el diseño ese mismo año. AT & T estableció su primer sistema de transmisión coaxial intercontinental en 1940. Dependiendo de la tecnología de soporte utilizada y otros factores, el cable de cobre de par trenzado y la fibra óptica son alternativas al cable coaxial. (Teleco, M. (s/f) [5]).

2.2.2 Usos de los cables coaxiales.

Las características eléctricas del cable coaxial dependen de la aplicación y son cruciales para un buen rendimiento. Dos impedancias características estándar son 50 ohmios, utilizados en entornos de potencia moderada, y 75 ohmios, comunes para conexiones a antenas e instalaciones residenciales.

En el hogar y pequeñas oficinas, se utilizan cables coaxiales cortos para televisión por cable, equipos de video domésticos, equipos de radioaficionados y dispositivos de medición. Históricamente, los cables coaxiales también se usaron como una forma temprana de Ethernet, soportando velocidades de hasta 10 Mbps, pero el cable UTP (par de cobre) ha suplantado el uso de coaxial. Sin embargo, siguen siendo ampliamente utilizados para internet de banda ancha por cable. Los cables coaxiales también se utilizan en automóviles, aeronaves, equipos militares y médicos, así como para conectar antenas parabólicas, antenas de radio y televisión a sus respectivos receptores.

Se encuentran en una amplia variedad de instalaciones residenciales, comerciales e industriales. Desde coaxial, televisión de antena comunitaria (CATV), red de área local (LAN), circuito cerrado de televisión (CCTV) hasta muchas otras aplicaciones, coaxial ha sentado las bases para una infraestructura de comunicaciones simple y rentable.

2.2.3 Partes del cable coaxial.

El cable coaxial es un tipo de cable de cobre especialmente construido con un blindaje metálico y otros componentes diseñados para bloquear la interferencia de la señal, las partes de este componente se detallan en la Figura 2.4, asimismo, recibió su nombre porque incluye un canal físico que transporta la señal rodeada, después de una capa de aislamiento, por otro canal físico concéntrico, ambos a lo largo del mismo eje. El canal exterior sirve de suelo. Muchos de estos cables o pares de tubos coaxiales se pueden colocar en un solo revestimiento exterior y, con los repetidores, pueden transportar información a una gran distancia.

Figura 2.4: Partes de Cable Coaxial

Fuente: *CABLE COAXIAL* - *icas_muñoz*. (s.f.). Google.com. Retrieved June 11, 2023, from <https://sites.google.com/site/icasmunoz/segunda-unidad/tipos-de-cables/cable-coaxial> [6]



2.2.3.1 Cubierta Plástica (Chaqueta).

La cubierta exterior que se encuentra en la mayoría de los cables coaxiales se llama chaqueta. La función principal de la chaqueta es la protección contra el medio ambiente y los daños mecánicos, así como una forma adicional de aislamiento. Los compuestos utilizados para hacer la chaqueta pueden tener diferentes clasificaciones de temperatura. La clasificación de temperatura de un cable, junto con la clasificación de ubicación (es decir, plenum, húmedo, resistente a la luz solar, etc.), determinará la temperatura mínima o máxima de funcionamiento del cable. (Oliver, R. 2021 [7]).

2.2.3.2 Escudo de aluminio (blindaje).

Los protectores de lámina se utilizan comúnmente como una aplicación efectiva y de bajo costo para evitar la interferencia de EMI / RFI. La construcción consiste en una capa de aluminio con un respaldo de poliéster que se superpone para proporcionar una cobertura del 100% (Oliver, R. 2021 [7]).

2.2.3.3 Blindaje Trenzado.

Los escudos de la trenza están contruidos con hilos delgados de aluminio, cobre estañado recubierto de cobre o cobre desnudo que se entrelazan. Muchas coberturas diferentes están disponibles con 40 -67% de aluminio y 95% de cobre, siendo las más populares. Los protectores trenzados de alto porcentaje ofrecen una excelente protección contra EMI y RFI y son populares en aplicaciones de CCTV (Oliver, R. 2021 [7]).

2.2.4 Impedancia.

La impedancia de un cable depende estrictamente del diámetro del conductor interior, diámetro exterior del cable y la permitividad dieléctrica del aislamiento. Debido a las reglas generalmente aceptadas, los diámetros de cables deben tener dimensiones específicas, por lo tanto, la correcta impedancia del cable se puede obtener usando un dieléctrico con permitividad adecuada, por ejemplo, expandiendo su estructura o usando un dieléctrico hecho con materiales diferentes, (Impedancia característica, 2022 [8]).

Al medir el diámetro del conductor y el diámetro interno de la pantalla, se puede calcular la impedancia de onda del cable de acuerdo con la siguiente fórmula:

Ecuación 2.1: Ecuación de Impedancia cable Coaxial

Fuente: Impedancia característica, 2022 [8]

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{E_r}} \ln \frac{D}{d}$$

Z_0 - impedancia del cable [ohmios]

D - diámetro de la pantalla [mm]

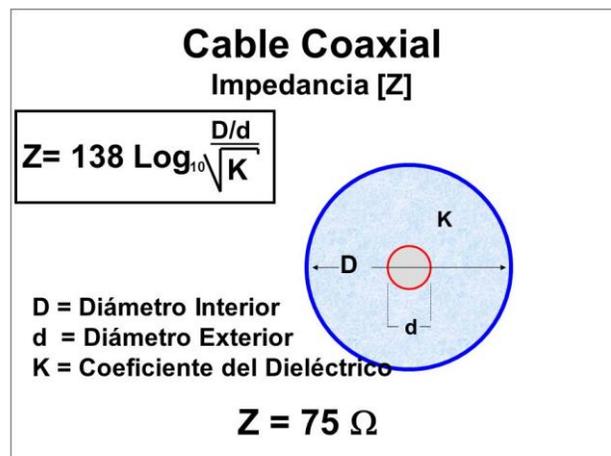
d - diámetro del conductor [mm]

E_r - permitividad del dieléctrico [unidad absoluta]

En la Figura 2.5 se muestra las medidas del cable coaxial, recabando esos datos se podrá realizar el calculo de impedancia de una línea de transmisión coaxial

Figura 2.5: Dimensiones de Cable Coaxial

Fuente : *Fernando Soulodre Walker Thomas & Betts Corporation.* (n.d.). Slideplayer.Es. Recuperado Junio 13, 2023, from <https://slideplayer.es/slide/18956/> [9]



La impedancia es un valor combinado y describe la relación entre la tensión y la corriente en cualquier punto del cable cuando no hay ninguna reflexión y el cable está completamente alineado. Esto significa que la impedancia de onda del cable debe ser igual a la impedancia de salida del transmisor y la impedancia de entrada del receptor. Es igualmente importante la alineación de conectores que tienen diferentes valores de impedancia.

Cables coaxiales con una impedancia de 75 Ω – se utilizan principalmente en la tecnología de televisión y la tecnología de CCTV. Se utilizan como cables de antena en todos los sistemas de televisión. Los cables coaxiales populares con una impedancia de onda de 75 Ω son RG-6/U RG59 (*Impedancia característica*, 2022 [8]).

Cables coaxiales con una impedancia de 50 Ω – se utilizan en la tecnología de radiocomunicaciones (por ejemplo, radios) o en la transferencia de datos por radio (por ejemplo, WLAN de 2,4 GHz). Los cables coaxiales con una impedancia de 50 Ω también fueron utilizados en las redes de ordenadores, actualmente, han sido sustituidos por cables UTP y FTP, comúnmente llamados par trenzado. (*Impedancia característica*, 2022 [8]).

2.3 Fibra Óptica.

El estudio del confinamiento de la luz debido al fenómeno de la refracción, dio lugar a uno de los medios de Transmisión más importante de las últimas décadas, en 1952, el físico Narinder Singh Kapany, apoyándose en los estudios de John Tyndall, realizó experimentos que condujeron a la invención de la fibra óptica (Wikipedia.org website (2017)[10])

La utilización de la fibra óptica ha acortado distancias y mejorado drásticamente la transferencia de información local e internacional, haciendo posible una interconexión nunca antes vista.

Es por ello que es importante hablar de este medio de transmisión, por lo que en los siguientes puntos se tratará de hacer un análisis de los puntos más destacables de la Fibra óptica, para una mejor comprensión de su aplicación, funcionamiento y desarrollo.

La fibra óptica se trata de un medio de transmisión de datos mediante impulsos fotoeléctricos a través de un hilo construido en vidrio transparente u otros materiales plásticos con la misma funcionalidad. Estos hilos pueden llegar a ser casi tan finos como un pelo, y son precisamente el medio de transmisión de la señal.

Básicamente, por estos finísimos cables se transfiere una señal luminosa desde un extremo del cable hasta el otro. Esta luz puede ser generada mediante un láser o un LED, y su

uso más extendido es el de transportar datos a grandes distancias, ya que este medio tiene un ancho de banda mucho mayor que los cables metálicos, menores pérdidas y a mayores velocidades de transmisión.

Otro aspecto muy importante que debemos tener en cuenta, es que la fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas, que es algo que por ejemplo los cables de pares trenzados sufren en todos los casos, esto contribuye a que se necesiten repetidores cada cierta distancia, la fibra óptica no transporta energía eléctrica, solamente señales de luz.

Pero la fibra óptica no solamente se utiliza para la transmisión de datos en redes, sino también para conexiones de audio de alta calidad. Además, también es una fuente de iluminación para proporcionar visibilidad en espacios reducidos e incluso para productos de decoración, por ejemplo, en árboles de navidad y cosas similares por supuesto estas fibras están construidas de plástico y son de bajo coste, y tienen poco que ver con los cables que se utiliza para datos.

2.3.1 Composición de la F.O.

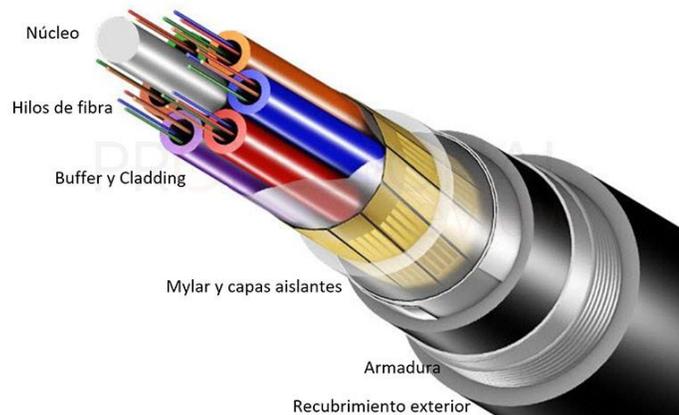
La mayoría de las fibras ópticas se fabrican de arena o sílice, materia prima abundante en comparación con el cobre, con un kilogramo de vidrio pueden fabricarse aproximadamente 43 kilómetros de fibra óptica. Los dos constituyentes esenciales de las fibras ópticas son: el núcleo que es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz, por efecto de su revestimiento o manto pueden ser fabricados en vidrio o plástico con diámetro de 50 a 125 micras (info@citel.,s.f. [11]).

2.3.2 Partes de la Fibra óptica.

Previamente a analizar la funcionalidad de la fibra óptica, es preciso detallar las partes que cuenta este medio de transporte para una mejor comprensión, dichas partes podrán ser apreciadas en la figura 2.6 y párrafos más adelante una descripción de cada una de ellas.

Figura 2.6: Partes de la Fibra Óptica

Fuente: Castillo, J. A. (2019, febrero 15). *Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo funciona*. Profesional Review; Miguel Ángel Navas. <https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/> [12]



Núcleo: Es el elemento central de un cable de fibra óptica que no siempre está presente. Su función es simplemente la de proporcionar un refuerzo para evitar la rotura y deformación del cable.

Drenaje de humedad: Este elemento tampoco está presente en todos los cables. Su función es la de conducir la posible humedad que tenga el cable para que salga a través de él. Va enrollado en el núcleo (Castillo, 2019 [12]).

Hilos de fibra: son el elemento conductor, por ellos viaja la luz y los datos en ella. Están fabricados de cristal de silicio o plástico de extrema calidad que crean un medio en el que la luz pueda reflejarse y refractarse correctamente hasta llegar al destino.

Buffer y Cladding (revestimiento): básicamente es el recubrimiento de los hilos de fibra óptica. Consiste en un relleno de gel de capa oscura para evitar que los rayos de luz no se salgan de la fibra. A su vez, el buffer es el recubrimiento externo que contiene el gel y la fibra.

Cinta de Mylar y capas aislantes: básicamente es un recubrimiento aislante que recubre todos los buffers de fibra. En función del tipo de construcción tendrá varios elementos, todos ellos de **material dieléctrico** (no conductor) (Castillo, 2019 [12]).

Recubrimiento ignífugo: si el cable es resistente al fuego, también necesitará un recubrimiento capaz de soportar las llamas.

Armadura: la siguiente capa se trata de la armadura del cable, que en los de mayor calidad siempre está construida de hilos de Kevlar. Este material es liviano y de gran resistencia e ignífugo, lo podremos ver en chalecos antibalas y cascos de pilotos (Castillo, 2019 [12]).

Recubrimiento exterior: como cualquier cable, se necesita un recubrimiento exterior, normalmente de plástico o PVC.

2.3.3 Principios de Funcionamiento

A continuación, detallaremos cuáles son los principios básicos por los cuales se produce un flujo de datos representado en haces de luz por medio de la fibra óptica.

Dentro de esta estructura ocurren fenómenos físicos que hacen posible la creación de redes de enlaces de datos dedicadas o no. Las fibras ópticas basan su funcionamiento en las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz.

2.3.3.1 Ley de Reflexión

La ley de la reflexión de la luz establece que todo rayo de luz que incide en una superficie reflectante, saldrá reflejado con un ángulo igual al ángulo de incidencia y de tal forma que tanto

el rayo incidente como el reflejado y la perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia están en el mismo plano (Fundamentos de las Fibras Ópticas, s/f, [13]), esto se lo puede apreciar en la Figura 2.7.

Figura 2.7: Reflexión de La Luz

Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]



Ángulo de incidencia = Ángulo de reflexión

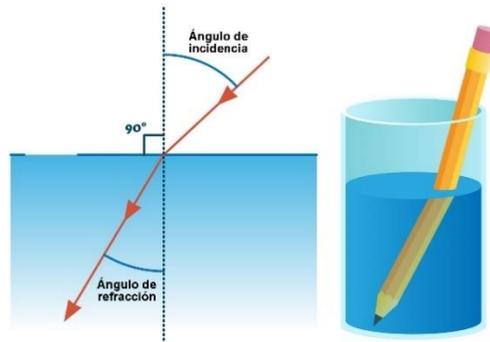
Los dos rayos están en el mismo plano que la normal

2.3.3.2 Ley Refracción y ley de Snell

De acuerdo con la Definición de Refracción. (s/f), el fenómeno de refracción ocurre con distintos tipos de ondas; no obstante, el más observado es el de la luz, en cuyo caso se aprecia introduciendo un objeto largo como un popote o una pajilla en un vaso de vidrio con agua. Al observar a través del vasom, pareciera que el objeto se “dobla”, lo cual se debe a que la luz reflejada por la porción del popote sumergida en agua tiene una dirección diferente a la luz reflejada por la porción que se encuentre fuera del agua mostrada en la Figura 2.8. El aire y el agua tienen índices de refracción distintos, lo cual es lo que crea esta ilusión óptica (Definición de Refracción, s/f [14]).

Figura 2.8: Refracción de la Luz

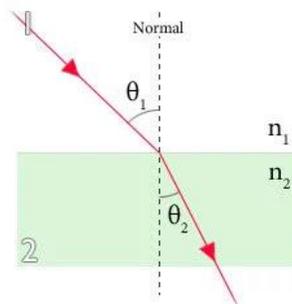
Fuente: *Definición de Refracción.* (s/f). Definición ABC. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://www.definicionabc.com/ciencia/refraccion.php> [14]



De la figura 2.9, podemos ver que el rayo de luz viene desde una sustancia o medio con índice de refracción n_1 y entra en otra sustancia o medio con índice de refracción n_2 . Se ve claramente que si $n_2 > n_1$ entonces $\text{sen } \theta_2 < \text{sen } \theta_1$, y por lo tanto cuanto menor es el seno, menor es el ángulo. Por eso, el ángulo θ_2 es menor que el ángulo θ_1 . Veamos un ejemplo numérico. Si imaginamos un rayo de luz que pasa desde el vidrio al agua, y cuyos índices de refracción son los indicados en la figura y calculamos cuál es el ángulo de refracción, suponiendo que el ángulo de incidencia es 30° .

Figura 2.9: Refracción de la Luz - Ley de Snell

Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas.* (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]



Ley de Snell

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Donde:

n_1 : Índice de refracción del medio 1

n_2 : Índice de refracción del medio 2

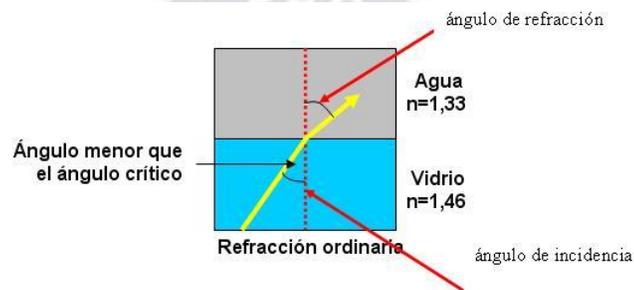
Aplicando la ley de Snell tenemos que:

Ecuación 2.2: Ecuación Ley de Snell

$$n_1 \times \text{sen } \Phi_1 = n_2 \times \text{sen } \Phi_2$$

Con la finalidad de tener una mayor comprensión del estudio de este fenómeno físico, realizaremos un pequeño ejemplo con los datos mostrados en la Figura 2.10

Figura 2.10: Ejemplo de Ley de la Ley de Snell



y sustituyendo los valores indicados en la Figura 2.10.

$$1,46 \text{ sen } 30 = 1,33 \text{ sen } \Phi_2 \text{ y como } \text{sen } 30 = 0,5 \text{ entonces}$$

$$0,73 = 1,33 \text{ sen } \Phi_2$$

de donde:

$$\text{sen } \Phi_2 = 0,73 / 1,33 = 0,5488$$

Finalmente utilizando la función Arcsen calculamos el ángulo Φ_2 también llamado ángulo de refracción

$$\Phi_2 = \text{arc sen } 0,5488 = 33,28^\circ$$

Si realizamos los cálculos para otro ángulo distinto de incidencia, por ejemplo, si en lugar de valer 30° el ángulo de incidencia, pasa a valer 66° , entonces el ángulo de refracción valdrá:

$$n_1 \times \text{sen } \Phi_1 = n_2 \times \text{sen } \Phi_2$$

y sustituyendo valores

$$1,46 \text{ sen } 66 = 1,33 \text{ sen } \Phi_2 \quad \text{y como } \text{sen } 66 = 0,9135 \text{ tenemos que:}$$

$$1,33 = 1,33 \text{ sen } \Phi_2$$

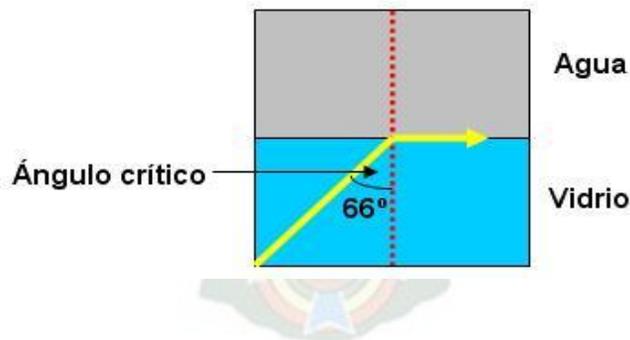
de donde se obtiene que:

$$\Phi_2 = \text{arc sen } (1,33 / 1,33) = \text{arc sen } 1 = 90^\circ.$$

En la Figura 2.11 se puede apreciar el comportamiento del haz de luz cuando el ángulo de incidencia es menor al ángulo crítico.

Figura 2.11 Angulo Critico

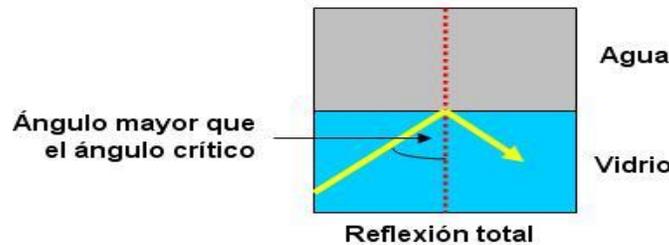
Fuente: Fundamentos de las Fibras Ópticas. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]



Para cualquier ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico, es decir, en el ejemplo anterior del vidrio y del agua, para cualquier ángulo de incidencia mayor que 66° , se produce un ángulo de refracción mayor que 90° , o lo que es lo mismo, la denominada **reflexión total**.

Figura 2.12 Reflexión Total

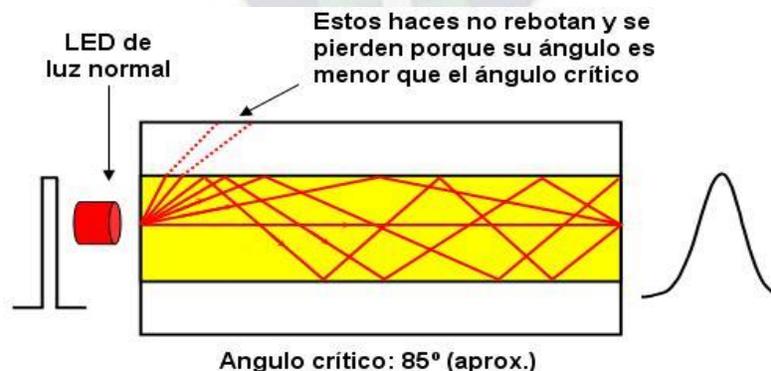
Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]



Es en este último a factor en que se basa la el transporte de información mediante fibra óptica. La luz que va por el interior de la fibra óptica sufre una reflexión total cada vez que intenta salir del núcleo y entrar en la cubierta. Como la reflexión total sigue la ley de la reflexión, el ángulo de entrada es igual al de salida, y por lo tanto, en las siguientes reflexiones a lo largo de la fibra se mantiene el ángulo.

Figura 2.13: Reflexión en Fibra Óptica

Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]



Por lo tanto, la fibra óptica por dentro no tiene nada parecido a un espejo, de tal manera que la luz va rebotando en ese espejo. Realmente no hace falta que haya espejos ni nada por el estilo. Simplemente con que el núcleo de vidrio y la cubierta, también de vidrio, tengan índices de refracción distintos, ya es suficiente para que la luz vaya rebotando sin salirse del núcleo,

siempre y cuando el ángulo con el que entran los rayos de luz del núcleo a la cubierta sea mayor que el ángulo crítico.

Esto último tiene una importancia fundamental porque, si la luz utilizada para la transmisión por fibra óptica está compuesta de diferentes longitudes de onda, cada longitud de onda circulará a una velocidad distinta por la fibra, produciéndose una dispersión de la señal (los pulsos de luz en la entrada aparecen de forma redondeada en la salida)

Tabla 2.1: Índices de Refracción de Algunos Sólidos y Líquidos¹⁴

Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]

Sustancia	n	Sustancia	n
Aceite de cedro	1.515	Hielo	1.32
Acetona	1.359	Ámbar	1.546
Agua (15° C)	1.3334	Ácido Bórico	1.463
Agua (20° C)	1.3329	Alcanfor	1.532
Alcohol etílico	1.361	Bálsamo de Canadá	1.530
Alcohol metílico	1.329	Diamante	2.417
Benceno	1.501	Vidrio de cuarzo	1.46
Bromo	1.654	Zafiro, rubí (Al ₂ O ₃)	1.767
Cloroformo	1.446	Circón (ZrO ₂ · SiO ₂)	1.923
Glicerina	1.494		

2.3.3.3 Atenuación en las fibras ópticas y ventanas de trabajo.

En la transmisión por fibras ópticas se utiliza luz de unas determinadas longitudes de onda.

Cuando la luz atraviesa la fibra óptica resulta atenuada por dos causas diferentes:

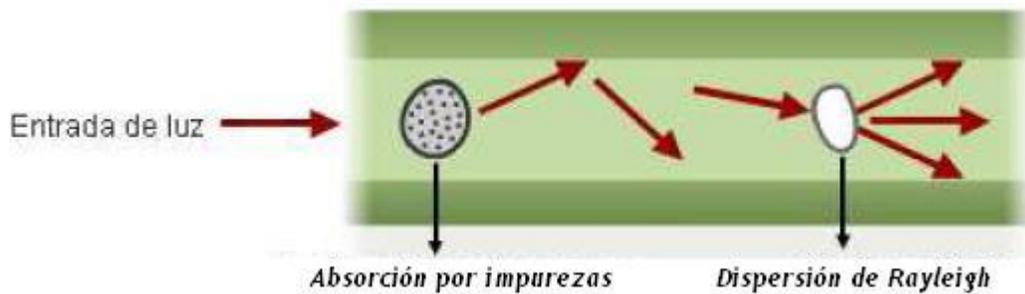
- **Causas intrínsecas:** Se deben a causas que tienen que ver con el proceso de fabricación de las fibras ópticas y donde el instalador no puede hacer nada para corregirlas. Las pérdidas intrínsecas más importantes se deben a la llamada Dispersión de Rayleigh y a la absorción. La dispersión de Rayleigh se produce por las no uniformidades microscópicas de las fibras y son causantes en las fibras actuales del

¹⁴ Todos los índices de la tabla están medidos con luz de sodio de longitud de onda de 589nm

90% de las pérdidas (Ver Figura 2.14). Las pérdidas por absorción se deben a impurezas y moléculas de agua que quedan en el interior de la fibra y que absorben parte de la luz transformándola en calor, atenuando por tanto la luz a medida que atraviesa la fibra óptica.

Figura 2.14 Atenuación en F.O. por Causas Intrínsecas

Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/> [13]



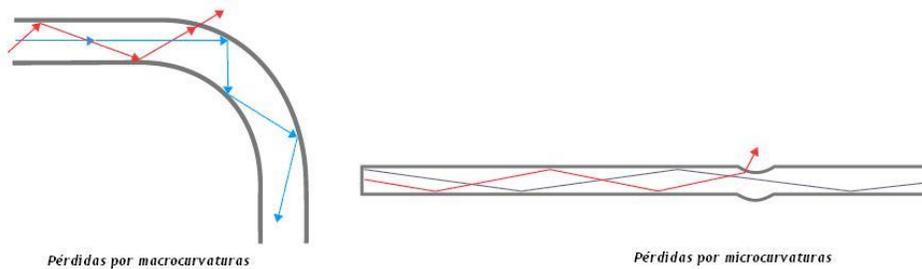
Al igual que sucede con la absorción, las pérdidas por dispersión de Rayleigh aumentan con la distancia recorrida por la luz en el interior de la fibra, y son mayores cuanto menor es la longitud de onda respecto del tamaño de las impurezas en la fibra. Estas pérdidas además no son lineales, sino que son inversamente proporcionales a la longitud de onda elevada a la cuarta potencia. Las pérdidas por dispersión de Rayleigh también son distintas según el tipo de material utilizado para la fabricación de la fibra óptica, por lo que existen diferentes tipos de fibras con diferentes coeficientes de atenuación total (dB/km) (Fundamentos de las Fibras Ópticas, s/f [13]).

Causas extrínsecas: Se deben a procedimientos defectuosos de instalación y son por tanto, un tipo de pérdidas que el instalador puede reducir si instala la fibra óptica de forma adecuada. Las pérdidas más importantes por causas extrínsecas son

las pérdidas por radios de curvatura (Ver figura 2.15) demasiado pequeños y por suciedad en los conectores. También por tensiones excesivas durante la instalación y por torsiones de la fibra óptica se pueden producir las denominadas micro curvaturas, las cuales también producen atenuación en la luz transmitida (Fundamentos de las Fibras Ópticas, s/f [13])

Figura 2.15: Atenuación de F.O. Por Causas Extrínsecas

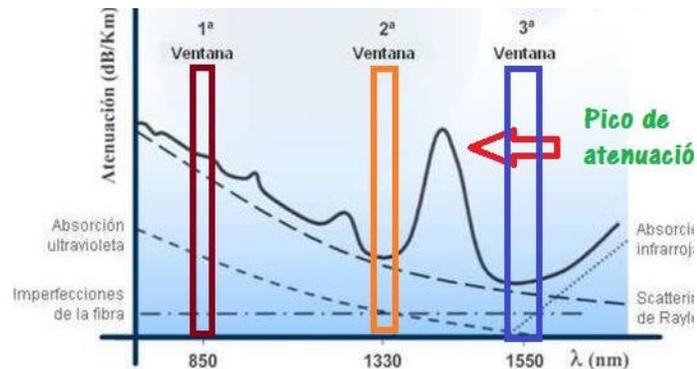
Fuente: *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>[13]



Las pérdidas de tipo intrínseco varían en función de la longitud de onda utilizada. Las pérdidas de Rayleigh son mayores cuanto menor es la longitud de onda respecto del tamaño de las impurezas de la fibra. Por lo tanto, las pérdidas de Rayleigh son menores para longitudes de onda mayores. Las pérdidas por absorción tienen un mínimo sobre los 1550 nm, aumentando hacia la zona del ultravioleta y también hacia la zona del infrarrojo. Las pérdidas por imperfecciones de la guía (micro curvaturas producidas en el propio proceso de fabricación) son prácticamente constantes para cualquier longitud de onda. Juntando todos los efectos, se obtiene la gráfica mostrada en la Figura 2.16

Figura 2.16: Ventanas de Transmisión en F.O.

Fuente: *Fibra Óptica*. (s/f). Tecnología-informatica.es. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://www.tecnologia-informatica.es/fibra-optica/> [15]



Se observa que hay unas zonas donde la atenuación es mínima, que corresponden a las denominadas ventanas de 1330 nm y de 1550 nm. También se observa que hay una zona sobre los 850 nm donde las pérdidas no son mínimas, pero sí que son constantes, lo cual es un requisito fundamental en el trabajo con fibras ópticas. Esta última ventana, denominada 1ª ventana, corresponde a una zona muy habitual de trabajo con fibras ópticas de tipo multimodo.

2.3.4 Tipos de Dispersión en F.O.

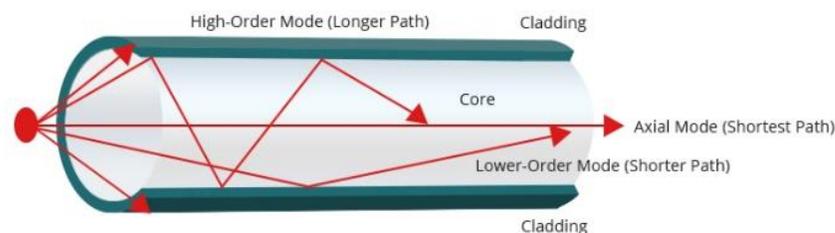
2.3.4.1 Dispersión modal.

La dispersión modal es un mecanismo de distorsión que se produce en las fibras multimodo y otras guías de onda: la señal se dispersa en el tiempo porque cada modo tiene una velocidad de propagación distinta. Como sabemos, los rayos de luz que entran en la fibra con diferentes ángulos de incidencia recorrerán diferentes trayectorias/modos tal como se muestra en la Figura 2.17. Algunos de estos rayos de luz viajarán directamente a través del centro de la fibra (modo axial), mientras que otros rebotarán repetidamente en el límite entre el revestimiento y el núcleo para recorrer en zigzag su camino a lo largo de la guía de ondas (véase ilustración: fibra multimodo de índice escalonado). Cada rebote provoca dispersión modal (o dispersión

intermodal), por lo tanto, cuanto más largo sea el trayecto, mayor será la dispersión modal total. Por ejemplo, los modos de orden superior (la luz entra en ángulos pronunciados) tienen más dispersión modal que los modos de orden inferior (la luz entra en ángulos más pequeños) (Bernal, 2018).

Figura 2.17: Dispersión Modal

Fuente: Bernal, S. (2018, marzo 1). Tipo de fibra óptica Capítulo 2 Multimodo (MM). *solutionsftx*. <https://www.solutionsftx.com/single-post/2018/03/01/tipo-de-fibra-optica-capitulo-2-multimodo-mm> [16]



La fibra multimodo puede soportar hasta 17 modos de luz simultáneamente, por lo que tiene mucha dispersión modal. En cambio, en la fibra monomodo no hay dispersión modal porque soporta un solo modo: la luz ingresa a través del eje de la fibra (entra en modo axial) sin rebotar en el límite del revestimiento.

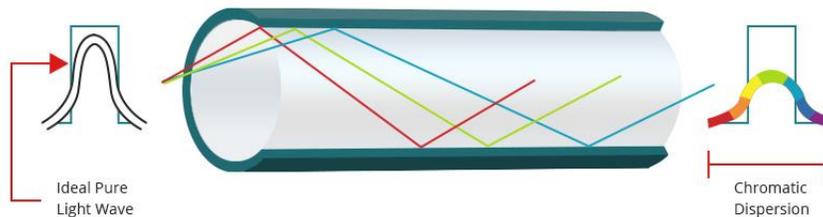
El caso de la fibra multimodo de índice graduado es un poco distinto: aunque los rayos de luz también viajan en diferentes modos, la dispersión modal disminuye considerablemente a causa de las diferentes velocidades de propagación de la luz.

2.3.4.2 Dispersión cromática.

De acuerdo a (*Types of optical fiber dispersion and compensation strategies*, 2021[17]), La dispersión cromática es un fenómeno de propagación de la señal en el tiempo que resulta de las diferentes velocidades de los rayos de luz. La dispersión cromática es la combinación de los efectos de dispersión del material y dispersión de la guía de ondas (Ver figura 2.18).

Figura 2.18: Dispersión Cromática

Fuente: *Types of optical fiber dispersion and compensation strategies*. (2021, agosto 26). Knowledge. <https://community.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html> [17]



Dispersión del material significa que la longitud de onda se ve afectada por el índice de refracción del material que compone el núcleo de la fibra. La dispersión de la guía de ondas se debe a la dependencia del coeficiente de propagación del modo de los parámetros de la fibra (radio del núcleo y diferencia entre el índice de refracción del núcleo y el del revestimiento de la fibra) y de la longitud de onda de la señal. A una frecuencia determinada, estos dos efectos pueden anularse mutuamente resultando en una longitud de onda con 0 dispersión cromática (aproximadamente).

Además, la dispersión cromática no siempre es mala. La luz viaja a diferentes velocidades en diferentes longitudes de onda o materiales. Estas velocidades diversas provocan que pulsos se extiendan o se compriman a medida que viajan por la fibra, esto permite personalizar el perfil del índice de refracción para producir fibras que se adecúen a diferentes aplicaciones. De hecho, las fibras G.652 están diseñadas de este modo.

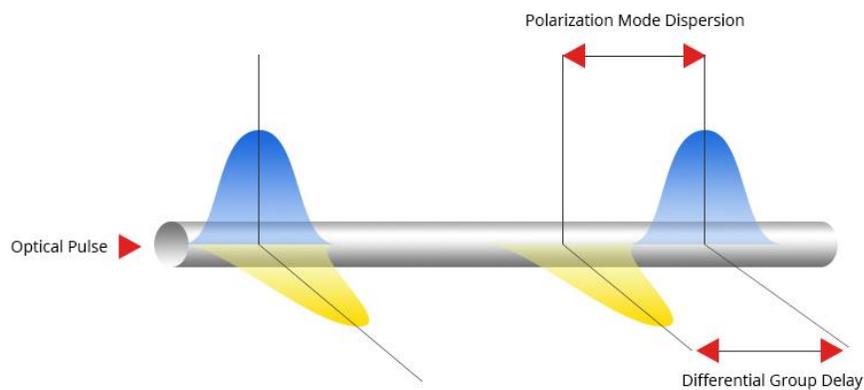
2.3.4.3 Dispersión del modo de polarización.

La dispersión del modo de polarización (PMD, polarization mode dispersion) representa la dependencia de la polarización de las características de propagación de las ondas de luz en las fibras ópticas. En las fibras ópticas, suele haber una ligera diferencia en las características de

propagación de las ondas de luz con diferentes estados de polarización. Cuando la luz se define como una onda de energía o región de energía, posee 2 ejes mutuamente perpendiculares: la fuerza electromotriz y la fuerza magnetomotriz. En el momento en que la energía dentro de estos dos ejes se transfiere a diferentes velocidades en una fibra, se produce la PMD.

Figura 2.19: Dispersión de Modo de Polarización

Fuente : (Types of optical fiber dispersion and compensation strategies. (2021, agosto 26). Knowledge. <https://community.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html>)[17]



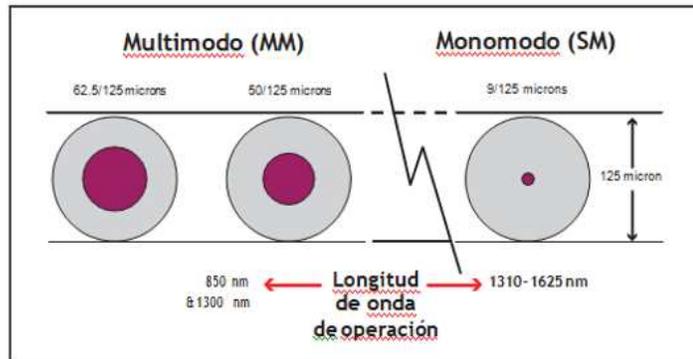
La PMD tiene un efecto mínimo en las redes con velocidades inferiores a 2,5 Gb/s, incluso en distancias de transmisión superiores a 1000 km. Sin embargo, a medida que aumentan las velocidades, se convierte en un parámetro más importante, especialmente en velocidades superiores a 10 Gb/s. Además de la PMD inherente causada por el proceso de fabricación del vidrio, hay otros factores que pueden afectar o causar esta dispersión, como el cableado de la fibra, la instalación y el entorno de funcionamiento del cable a (Types of optical fiber dispersion and compensation strategies, 2021[17]).

2.3.5 Fibras ópticas Multimodo y Fibras ópticas Monomodo.

Los hilos de fibra óptica se los clasifica en dos, Multimodo y Monomodo, considerando el tamaño del núcleo y del revestimiento mostrados en la figura 2.20.

Figura 2.20 : Fibras Multimodo y Monomodo

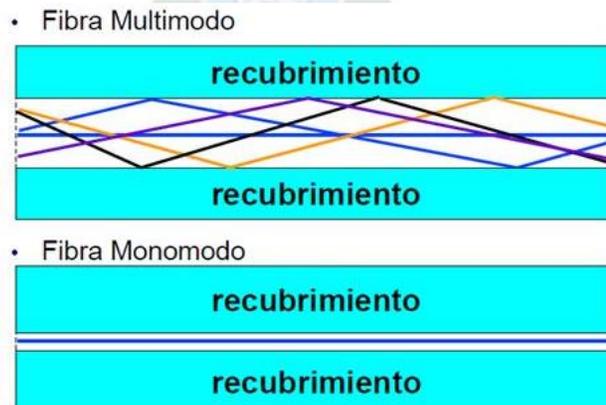
Fuente: Bernal, S. (2018, marzo 1). Tipo de fibra óptica Capitulo 2 Multimodo (MM). *solutionsftx*. <https://www.solutionsftx.com/single-post/2018/03/01/tipo-de-fibra-optica-capitulo-2-multimodo-mm> [16]



Las fibras ópticas multimodo tienen la ventaja de exigir un acople de la luz menos preciso, al permitir el trabajo tanto con fuente de luz Láser como con fuente de luz Led. Las fibras de tipo monomodo trabajan únicamente con fuente de luz Láser. Pero las fibras ópticas multimodo tienen el inconveniente de que poseen un ancho de banda menor que las fibras monomodo. Un ancho de banda menor significa que por una fibra multimodo la velocidad máxima en bits por segundo va a ser menor que en una fibra monomodo. Esta menor velocidad se produce por la denominada dispersión modal de las fibras ópticas.

Figura 2.21: Transmisión en fibras Monomodo y Multimodo

Fuente: *Fibra Óptica*. (s/f). *Tecnologia-informatica.es*. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://www.tecnologia-informatica.es/fibra-optica/> [15]



Los diferentes tipos de Fibra Óptica, obtenidos al variar determinadas características, permiten optimizar la utilización de los cables ópticos, tanto en el aspecto económico como en el de su utilización.

2.3.5.1 Fibra Óptica Monomodo

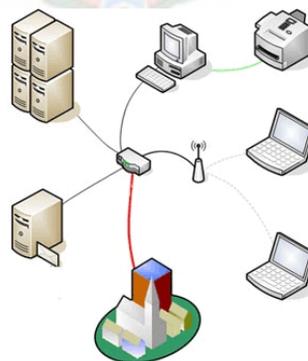
Sus principales ventajas (ancho de banda prácticamente ilimitado, bajo nivel de atenuación) aconsejan su utilización en aplicaciones WAN o Telecom (larga distancia).

G.652 (B y D): Utilizadas como fibra estándar en Telecom y para transmisión Ethernet a Gigabit y 10 Gigabit (ver tabla inferior). La denominación OS1 es cubierta por las fibras tipo de G652a, b c y d. La fibra tipo OS2 (desde 2006) fija características para las longitudes de onda 1310 nm, 1550 nm y 1383 nm (fibras de bajo pico de agua, válidas para CWDM). Asimismo, la fibra OS2 es de aplicación como fibra óptica SM para aplicaciones de larga distancia en redes WAN (*Es la fibra monomodo G.652 tu mejor opción*, 2019, August 23[18]).

G.655: Fibra con dispersión desplazada no nula. Optimizada para aplicaciones de larga distancia a 1550 nm. Sus características se fijan a 1550 nm y 1625 nm, por lo que puede ser utilizada para multiplexación DWDM entre estas λ 's lo cual se muestra en la Figura 2.22.

Figura 2.22: Multiplexación de servicios mediante F.O.

Fuente: *Diferentes tipos de fibra óptica* | Grupo COFITEL, s.f.-a[19]



G-656: Fibra con dispersión desplazada no nula. Optimizada para aplicaciones de banda ancha. Sus características se fijan entre 1460 nm y 1625 nm, estando especialmente indicada para multiplexación CWDM y DWDM en ese ámbito de λ .

G.657: Fibra óptica con características especiales para su aplicación en FTTx (alta resistencia a la humedad y a las macro curvaturas), permite la transmisión a 1310. 1490 y 1550nm.

2.3.5.2 Fibra Óptica Multimodo.

De acuerdo con la publicación de Carlos Vargas, “Las fibras multimodo se rigen por la recomendación **G.651.1**¹⁵, este tipo de fibra permite el uso en redes Ethernet de 1Gbs alcanzando los 550 nm de longitud en un solo enlace, funcionando con dispositivos transceptores de 850 nm.” (Vargas, C., 2020).

50/125 μ m: Fibra utilizada habitualmente en aplicaciones informáticas. Clasificada en varios tipos (OM1, OM2, OM3 y OM4) en función de su ancho de banda, de su aplicación (ver tabla abajo) y de la distancia cubierta por el enlace. La de tipo OM2 permite soluciones económicas al utilizarla para la transmisión analógica de señal banda base (CCTV) en distancias hasta 2 o 3 Km.

62,5/125 μ m : De aplicación frecuente en redes Ethernet 10/100 o CCTV banda base, hasta 4 Km (850 nm) o 10 Km (1300 nm). (Vargas, C.,2020[20]).

¹⁵ Recomendación de título” Características de los cables de Fibra óptica multimodo de índice gradual de50/120um para la red de acceso óptico”

2.3.6 Espectro Electromagnético.

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de ondas mostradas en la Tabla 2.2 y pueden clasificarse según su principal fuente de producción. La clasificación no tiene límites precisos (George L, 2002[21])

Tabla 2.2: Intervalo de Frecuencias

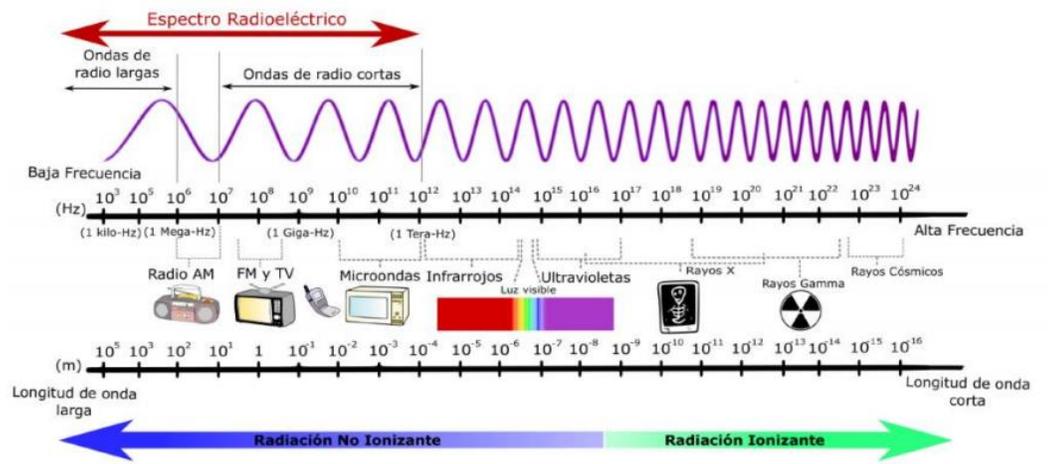
Fuente: (George L. (2002, Agosto) Revealing the small range of radio-microwave frequencies https://www.researchgate.net/publication/230976995_My_Way_Revealing_the_small_range_of_radio-microwave_frequencies [21])

Región del espectro	Intervalo de frecuencias (Hz)
Radio-microondas	$0-3.0 \cdot 10^{12}$
Infrarrojo	$3.0 \cdot 10^{12}-4.6 \cdot 10^{14}$
Luz visible	$4.6 \cdot 10^{14}-7.5 \cdot 10^{14}$
Ultravioleta	$7.5 \cdot 10^{14}-6.0 \cdot 10^{16}$
Rayos X	$6.0 \cdot 10^{16}-1.0 \cdot 10^{20}$
Radiación gamma	$1.0 \cdot 10^{20}$

En la tabla 2.2, se muestran las distintas regiones del espectro en escala logarítmica. En esta escala, las ondas de radio y microondas ocupan un amplio espacio. En esta escala podemos ver todas las regiones del espectro; sin embargo, el tamaño relativo de las distintas regiones está muy distorsionado.

Figura 2.23: Espectro Electromagnético

Fuente: Wikipedia, F. (2011). Espectro Electromagnético: Rayos X, Radiación Térmica, Luz, Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, Bandas de Frecuencia GSM, Rayos Gamma. Books LLC, Wiki Series.[22]



En la figura 2.23, se representan las distintas regiones del espectro en escala lineal.

Vemos cómo la región correspondiente a las ondas de radio y a las microondas es muy pequeña comparada con el resto de las regiones. El final de la región ultravioleta estaría varios metros a la derecha del lector, y el final de los rayos X varios kilómetros a la derecha del lector (Wikipedia, F. 2011 [22]).

Por lo tanto, no se puede dibujar la representación lineal de todo el espectro electromagnético, porque sería de un tamaño gigantesco. Pero se puede dibujar la representación lineal de una fracción del espectro electromagnético, para darnos cuenta de las dimensiones relativas reales de sus distintas regiones.

2.3.7 Ventajas de la fibra óptica.

La fibra óptica es la mejor forma de transmisión de datos por cable conocida, la cual cuenta con las siguientes ventajas (Marketing, 2017 [23]).

- Ocupa poco espacio, dado su pequeño tamaño, pero es sumamente flexible, lo cual facilita su instalación.
- Es liviana. Pues pesa ocho veces menos que un cable convencional.
- Presenta una gran resistencia. Tanto mecánica como térmica, y resiste bien a la corrosión.
- Es más ecológica. En comparación con los residuos dejados por el cableado convencional.
- Inmune a interferencias electromagnéticas, dada la naturaleza de sus componentes.
- Veloz, eficaz y segura. Es la mejor forma de transmisión de datos por cable conocida.

2.3.8 Desventajas de la fibra óptica.

Las desventajas de la fibra óptica apuntan a lo siguiente (Marketing, 2017 [23]):

- Son frágiles. Ya que el vidrio en su interior es susceptible de romperse.
- Requiere de conversores. Para devolver la energía lumínica a su sentido informativo.
- Son difíciles los empalmes. Especialmente en las zonas rurales.
- No transmite energía eléctrica. Por lo que requiere de emisores y transportadores complejos, cuyo suministro de energía no puede tomarse de la línea misma.
- Envejece ante la presencia de agua. Lo cual limita su aplicación mundial.
- No existen memorias ópticas.

2.3.9 Conectores de fibra óptica.

La introducción de cables de parche de fibra ha permitido la realización de velocidades mucho mayores de comunicaciones de datos con una señal más alta. Y podemos ver muchos cables de conexión de fibra disponibles en el mercado, como cable de fibra LC a LC , cable de

conexión de fibra LC de monomodo , cable de conexión de fibra monomodo ST a LC, cable de fibra monomodo con conector LC, etc. Los clientes pueden preguntarse a qué se refieren LC, ST, SC. De hecho, esos se refieren a los diferentes tipos de conectores de fibra óptica. (Lopez, C. 2017 [24]).

Un conector de fibra óptica termina el extremo de un cable de fibra óptica y permite una conexión y desconexión más rápidas que el empalme Ver figura 2.24. Tiene que estar alineado correctamente con las fibras de vidrio microscópicas por completo para poder asignarlas para la comunicación. En total, hay cerca de 100 conectores de fibra óptica en el mercado, pero solo unos pocos representan la mayoría del mercado: conector LC, conector SC, conector ST, conector FC, etc. A, vea a continuación información detallada sobre los conectores anteriores.

Figura 2.24: Conectores de Fibra Óptica

Fuente: Lopez, C. (2017, October 30). *Cuatro tipos comunes de conectores de fibra óptica*. Medium. <https://medium.com/@clopez.stark/cuatro-tipos-comunes-de-conectores-de-fibra-%C3%B3ptica-4ada21a95541> [24]



2.3.9.1 Conector de fibra óptica SC.

SC significa Conector de Suscriptor. SC, también llamado conector cuadrado, fue desarrollado por Nippon Telegraph and Telephone en el mercado y lentamente creció en popularidad a medida que el costo de fabricación disminuyó. Ahora es cada vez más popular en el cable de fibra óptica monomodo, CATV analógico, GPON, GBIC. SC es un conector a presión (acoplamiento push-pull) con un diámetro de férula de 2,5 mm que funciona con la norma IEC 61754-4. (Lopez, C. 2017). El perfil cuadrado exterior del conector junto con su mecanismo de cierre rápido que permite una mayor densidad de empaquetamiento del conector en instrumentos y paneles de conexión.

2.3.9.2 Conector de fibra óptica LC.

LC se refiere a un conector Lucent. Es un conector push-pull, de formato pequeño, que usa una férula de 1,25 mm, la mitad del tamaño del SC. LC, debido a la combinación de tamaño pequeño y característica de cierre, es ideal para conexiones de alta densidad, transceptores SFP y SFP+ y transceptores XFP. Junto con el desarrollo de transceptores compatibles con LC y componentes de red activos, seguirá creciendo en el campo de FTTH. (Lopez, C. 2017 [24]).

2.3.9.3 Conector de fibra óptica FC.

FC es la abreviatura de Ferrule Connector, es un conector de fibra óptica y roscado que fue diseñado por Nippon Telephone and Telegraph en Japón. El conector FC se aplica para fibra óptica monomodo y fibra óptica que mantiene la polarización. El FC es un conector tipo tornillo con una férula de 2.5 mm, que fue el primer conector de fibra óptica en usar una férula de cerámica. Sin embargo, FC se está volviendo menos común y superior, principalmente por SC y LC debido a su aflojamiento de vibración y pérdida de inserción (Lopez, C. 2017 [24]).

2.3.9.4 Conector de fibra óptica ST.

ST se refiere a Punta Recta. El conector ST fue desarrollado por AT & T poco después de la llegada del FC. Se pueden confundir entre sí, pero ST usa una montura de bayoneta que no sea una rosca. Y debe asegurarse de que los conectores SC estén bien asentados debido a su estructura de resorte. SC se utiliza principalmente en cables de fibra óptica multimodo, campus y edificios.

Las diferencias entre los tipos de conectores son fáciles de descuidar en las complicadas cuotas de fibra. Sin embargo, tomarse el tiempo para seleccionar el correcto puede brindar beneficios sustanciales, lo que le ahorrará tiempo y dinero. (Lopez, C. 2017 [24]).

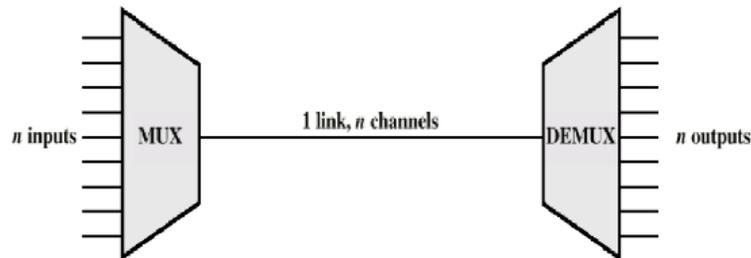
2.4 Técnicas de multiplexación.

Cuando hablamos de Multiplexación o Multicanalización nos referimos a un dispositivo de telecomunicaciones, en el cual la entrada posee varios canales para datos y estos serán transmitidos por solo canal de salida (figura 2.25), es decir, n número de entradas será transmitido en un único canal de salida. Pero se debe acotar que es necesario que en el otro extremo se realice todo el proceso contrario, es decir, una demulticanalización en donde la entrada se separe en varias salidas; la información a transmitir puede ser de datos, voz, video, etc. (Turmero, P., 2015 [24]).

Figura 2.25: Multiplexación de Datos

Fuente: (Turmero, P. (2015, July 20). *Multiplexación por división de onda*.

Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos105/multiplexacion-division-onda/multiplexacion-division-onda> [25]



Las frecuencias de señales de radio en algunas ocasiones pueden ser muy difíciles de obtener, llegando a ser muy costosas cuando se encuentran disponibles. Ante este panorama la industria que maneja tecnologías inalámbricas como la telefonía celular, utiliza tres diferentes técnicas para permitir que múltiples usuarios utilicen eficientemente las frecuencias asignadas. Las técnicas son FDMA, TDMA y CDMA (Turmero, P., 2015 [25]).

2.4.1 FDMA.

Se denomina acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA / Frequency Division Multiple Access). El ancho de banda disponible es dividido en una serie de canales que son asignados bien sea para transportar señales de control o señales de voz. Cada canal asignado a un usuario es de 30 KHz y opera bajo la modalidad simplex. Tanto el receptor como el emisor utilizan la misma frecuencia y por lo general esta tecnología es usada en los sistemas de radio comercial y televisión (Diez, L., s.f. [26]).

2.4.2 TDMA.

El acceso múltiple por división del tiempo (TDMA / Time Division Multiple Access) es el proceso por el cual a un usuario se le asigna una porción de tiempo para su conversación. En sistemas celulares digitales, la información debe ser convertida desde su origen análogo (Voz

humana) en datos digitales (1s y 0s) (Diez, L., s.f. [26]). Un dispositivo codificador/decodificador realiza la conversión analógica-a-digital-a-analógica. Entre más eficiente sea este dispositivo, puede asignar más porciones de tiempo para ser compartidas por los usuarios. Por ejemplo, si la voz humana puede ser comprimida a una tasa de 5:1, entonces 5 porciones de tiempo podrían estar disponibles. Por lo general, TDMA asigna tres porciones de tiempo en cada canal de 30 KHz

2.4.3 CDMA.

El acceso múltiple por división de código (CDMA / Code Division Multiple Access) es el más eficiente de los sistemas de acceso y está desplazando significativamente los sistemas FDMA y TDMA. En lugar de dividir los usuarios en tiempo o frecuencia, cada usuario obtiene todo el espectro de radio en todo momento. Las actuales implementaciones de la técnica CDMA utilizan un ancho de banda de canal de 1.25 MHz comparados con los 30 MHz usados por FDMA y TDMA. (Diez, L., s.f. [26]). Un tamaño de canal de 1.25 MHz permite la propagación de 128 llamadas simultáneas gracias a la codificación digital. Múltiples conversaciones pueden ocurrir sobre el mismo canal y todas se transmiten codificadas en forma digital. Debido al amplio uso de esta tecnología en los sistemas de telefonía celular, las estaciones base poseen toda la infraestructura necesaria para manipular (extraer) las conversaciones individuales codificadas. CDMA cuenta con beneficios muy atractivos como mayor capacidad, mayor seguridad y mejor calidad de las llamadas.

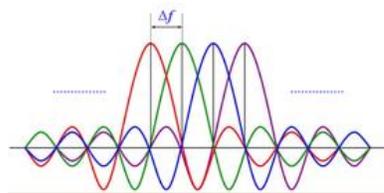
2.4.4 OFDM.

La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), o Discrete Multi-tone Modulation (DMT) es una

multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias ortogonales entre sí, donde cada una transporta información. (Garcia & Mejia , 2013[27]).

Figura 2.26: Portadoras en Esquema OFDM

Fuente: (Garcia Jara, R. F., & Mejia Menendez, J. C. (2013). *Diseño, simulación e implementación del esquema de modulación OFDM y de la ecualización en el dominio de la frecuencia*. Espol. [27]



En vez de dejar espacio de guarda entre subportadoras como se puede apreciar en la figura 2.26, en OFDM se encuentran cercanas y ortogonales entre sí, haciendo que su ancho de banda se sobreponga.

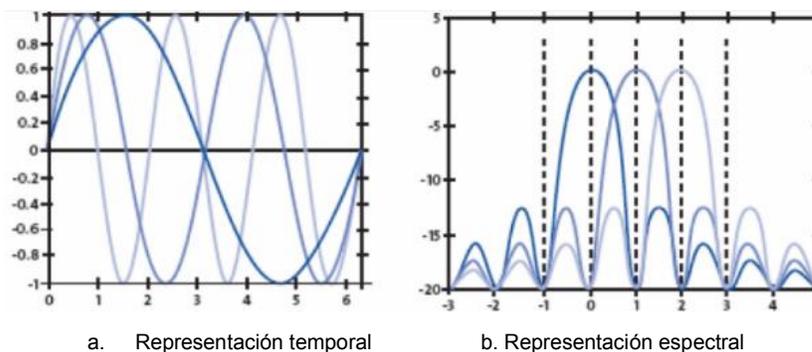
2.4.4.1 Característica Principal de OFDM.

Lo que diferencia al OFDM de otros procedimientos de multiplexación en frecuencia es la ortogonalidad, pues el “espaciamiento adecuado” entre portadoras es un espaciamiento óptimo.

Este espaciamiento consiste en que la separación espectral entre portadoras consecutivas es siempre la misma e igual al inverso del periodo de símbolo (Turmero,P.2015 [25])

Figura 2.27: Representación Temporal y Espectral sub portadora OFDM

Turmero, P. (2015, July 20). *Multiplexación por división de onda*. Monografias.com. [https://www.monografias.com/trabajos105/multiplexacion-division-onda/multiplexacion-division-onda\[25\]](https://www.monografias.com/trabajos105/multiplexacion-division-onda/multiplexacion-division-onda[25])



Sistemas que utilizan la modulación OFDM

Entre los sistemas que usan la modulación OFDM destacan:

- Las normas de televisión digital terrestre DVB-T e ISDB-T.
- La radio digital DAB
- La radio digital de baja frecuencia DRM
- El protocolo de enlace DSL
- El protocolo de red de área local IEEE 802.11a/g/n, también conocido como Wireless LAN
- El sistema de transmisión inalámbrica de datos WiMAX
- El sistema de transmisión de datos de POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)
- Telefonía móvil 4G LTE

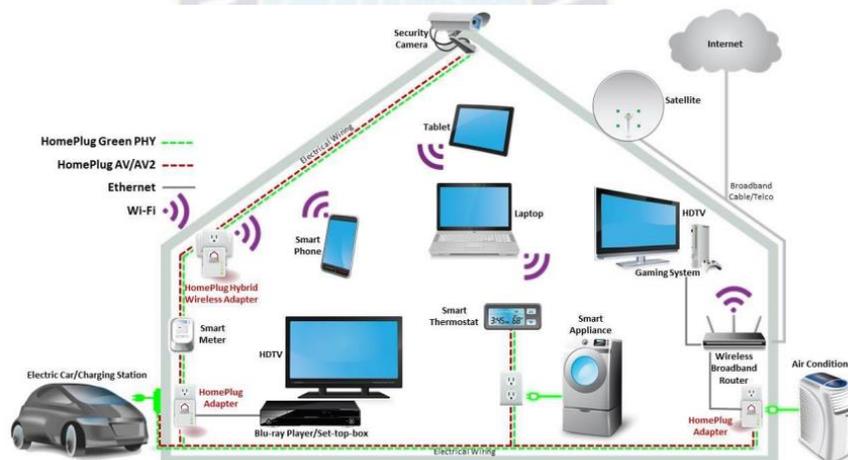
El ancho de banda del canal es uno de los parámetros clave en la implementación de la técnica OFDM. Este parámetro influye en la cantidad de subportadoras que pueden utilizarse para la modulación OFDM. Por ejemplo, la técnica LTE define varios anchos de banda del canal: de 1,4 MHz a 20 MHz. Es evidente que cuanto mayor sea el ancho de banda del canal, mayor será su capacidad. El canal con un ancho de banda de 1,4 MHz se divide en 72 subportadoras, y el canal con un ancho de banda de 20 MHz se divide en 1200 subportadoras. Hay una interrupción de 15 kHz entre cada subportadora. A fin de asegurar la ortogonalidad de las subportadoras entre ellas, la duración del símbolo debe ser de 66,7 μ s. Cada subportadora puede transferir datos a una velocidad de 15 ks/s (kilo-símbolos por segundo). Para el ancho de banda de 20 MHz la tasa de símbolos es de 19 Ms/s. Utilizando la codificación 64QAM, cada símbolo es llevado por 6 bits, lo que a su vez se traduce en una velocidad de transferencia de datos de 108 Mb/s.

2.5 Redes Home Plug.

La red HomePlug es el nombre de la familia de diversas especificaciones de comunicaciones de datos a través de una línea eléctrica (Wikipedia contributors. (s/f)[56]) , Su uso más común es crear redes de computadoras domésticas sin la necesidad de cableado adicional o señales inalámbricas. HomePlug en sí es una marca y el nombre de un estándar industrial para el sistema.

Figura 2.28: Uso de Redes Home Plug en Difusión de Datos sobre redes Eléctricas

Fuente: Lutz, Z. (2012, enero 11). *HomePlug Alliance AV2 specification promises gigabit class networking over electrical wires*. Engadget. <https://www.engadget.com/2012-01-11-homeplug-alliance-announces-av2-specification.html> [28]



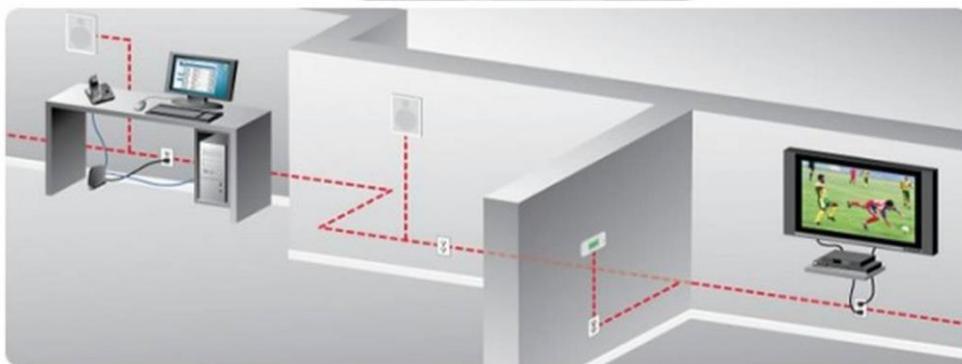
Al utilizar la red HomePlug, debería poder enrutar señales de datos entre dos enchufes de alimentación que estén conectados al mismo medidor de electricidad. En la práctica, la velocidad de conexión es aproximadamente la mitad de la que alcanza una red inalámbrica. Esto debería ser suficiente para la mayoría de los usos domésticos de Internet. Una señal HomePlug® debería poder viajar hasta 328 pies (100 metros) sin degradarse, por lo que será adecuada para prácticamente todos los hogares (HomePlug AV2 whitepaper. s/f [29]).

Hay algunos factores que pueden limitar la conexión en red de HomePlug®. La señal puede estar sujeta a interferencias de algunos dispositivos, como protectores de sobretensión. Por esta razón, normalmente es mejor usar solo dispositivos HomePlug® enchufándolos directamente a un enchufe en lugar de a través de un cable de extensión o un adaptador de múltiples enchufes. Es posible que los hogares en los Estados Unidos que usan el sistema de energía de fase dividida no puedan usar la red HomePlug® en todo el edificio.

Los datos enviados a través de la red HomePlug® tienen un riesgo de seguridad pequeño pero significativo. Esto se debe a que la señal puede traspasar los límites del edificio en cuestión. Para protegerse contra esto, el equipo HomePlug® cifrará los datos de forma predeterminada. Sin embargo, generalmente no hay peligro de que un vecino pueda interceptar sus datos simplemente usando su propio equipo HomePlug® (Lutz, Z. 2012 [28]).

Figura 2.29: Uso de redes Home Plug

Fuente: Chw, C. (2010, agosto 25). Western Digital presenta su propio dispositivo Homeplug. FayerWayer. <https://www.fayerwayer.com/2010/08/western-digital-presenta-su-propio-dispositivo-homeplug/> [30]



Los conceptos y la tecnología utilizados por la red HomePlug® se pueden aplicar a otras formas de transmisión de datos. Por ejemplo, en teoría es posible transmitir señales de Internet de banda ancha a través de las líneas eléctricas hasta un hogar (Ver Figura 2.29) (Lutz, Z. 2012 [28]).

Cuando esto funciona, un usuario simplemente necesita conectar un módem adecuado entre una computadora y una toma de corriente estándar para obtener una conexión a Internet. En la práctica, existen varios problemas de interferencia que hacen que este sistema sea difícil de utilizar de forma fiable (Chw, C. 2010 [30]).

Algunas especificaciones HomePlug están destinadas a aplicaciones de banda ancha, como la distribución en casa de datos de baja velocidad IPTV, juegos y contenido de Internet, mientras que otros se centran en baja potencia, bajo rendimiento y temperaturas de funcionamiento extendidas para aplicaciones tales como medidores inteligentes de energía y comunicaciones en el hogar comunicaciones entre los sistemas eléctricos y electrodomésticos. Todas las especificaciones HomePlug fueron desarrolladas por la HomePlug Powerline Alliance, que también es propietaria de la marca registrada de HomePlug.

2.6 Estándar IEEE 1901.

El IEEE Std 1901-2010 es un estándar para dispositivos de comunicación de alta velocidad (hasta 500 Mbit/s en la capa física) a través de líneas eléctricas, a menudo llamado banda ancha sobre líneas eléctricas (BPL). El estándar utiliza frecuencias de transmisión por debajo de 100 MHz. Este estándar es utilizable por todas las clases de dispositivos BPL, incluidos los dispositivos BPL utilizados para la conexión (<1500 m a las instalaciones) a servicios de acceso a Internet, así como dispositivos BPL utilizados dentro de edificios para redes de área local, aplicaciones de energía inteligente, plataformas de transporte (vehículo) y otras aplicaciones de distribución de datos (<100 m entre dispositivos). (IEEE1901, s/f [31]).

El estándar IEEE Std 1901-2010 reemplazó una docena de especificaciones de línea eléctrica anteriores. Incluye un protocolo entre sistemas (ISP) de coexistencia obligatoria. El ISP

IEEE 1901 evita la interferencia cuando las diferentes implementaciones de BPL funcionan muy cerca unas de otras.

Para manejar múltiples dispositivos que intentan usar la línea al mismo tiempo, IEEE Std 1901-2010 es compatible con TDMA , pero CSMA/CA (también utilizado en Wi -Fi) se implementa más comúnmente en los dispositivos vendidos.

Los estándares 1901 incluyen dos capas físicas diferentes (PHY), una basada en la modulación de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) con transformada rápida de Fourier (FFT) y otra basada en la modulación OFDM wavelet. Cada PHY es opcional, y los implementadores de la especificación pueden incluir ambos, pero no están obligados a hacerlo. El FFT PHY se deriva de la tecnología HomePlug AV y se implementa en productos basados en HomePlug. Wavelet PHY se deriva de la tecnología HD-PLC y se implementa en productos basados en HD-PLC.

La FFT PHY incluye un esquema de corrección de errores de reenvío (FEC) basado en código turbo convolucional (CTC). La segunda opción "Wavelet PHY" incluye un FEC obligatorio basado en Reed-Solomon (RS) concatenado y código convolucional, y una opción para usar código de verificación de paridad de baja densidad (LDPC) (IEEE1901,s/f [31]).

Además de estas dos capas físicas, se definieron dos capas de control de acceso a medios (MAC) diferentes; uno para redes domésticas y el otro para acceso a Internet. Se necesitaban dos MAC porque cada aplicación tiene requisitos diferentes.

Para gestionar la coexistencia entre PHY y MAC, se desarrolló el Protocolo entre sistemas (ISP). ISP permite que varios dispositivos y sistemas BPL compartan recursos de comunicación (frecuencia/tiempo) cuando se instalan en una red con cableado eléctrico

común. ISP permite la coexistencia de dispositivos compatibles con 1901 y dispositivos compatibles con ITU-T G.hn.

El protocolo proporciona división de frecuencia configurable para el acceso y división de tiempo para el hogar con una granularidad compatible con los requisitos de calidad de servicio (QoS) de las aplicaciones de audio y video más exigentes.

Una enmienda en 2019, IEEE 1901a-2019, define una forma más flexible de separar los canales OFDM de wavelet para aplicaciones de Internet de las cosas

2.7 Redes HFC.

2.7.1 Introducción.

Una red HFC es una red de telecomunicaciones por cable que combina varios medios de transmisión: fibra óptica, transmisión por medio de luz y cable coaxial, transmisión por medio de cobre. Los cuales son utilizados para la transmisión de señales. La característica de este tipo de redes es que ofrece variedad de servicios, todo solo por un único medio de transmisión.

Los sistemas de CATV (Community Antenna Television: Televisión por Antena Comunitaria) nacieron originalmente como redes de cable coaxial unidireccionales. Al principio eran sistemas con señales de televisión analógicas que atendían poblaciones alejadas de las plantas transmisoras, compartiendo el costo de la instalación de grandes antenas.

Las redes de cable se desarrollan a finales de los años 40, con el objetivo de facilitar la distribución de señal a las pequeñas ciudades asentadas en los valles de las montañas de Pennsylvania, EEUU (*Curso Basico CATV Capitulo 01. (s/f)[32]*).

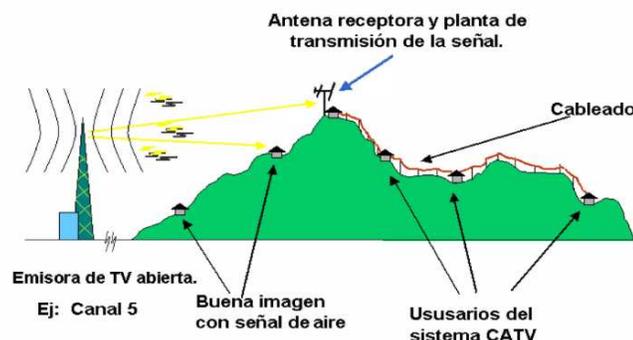
En esta zona, la configuración geográfica hacía imposible la recepción de la señal emitida desde la estación más próxima, como se muestra en la figura 2.30, situada en Philadelphia. John

Walson, propietario de un almacén de aparatos de televisión, tenía dificultades en la venta de estos equipos debido a las complicaciones en la recepción. La señal de televisión no podía atravesar las montañas, aunque la recepción sí era posible en las crestas de las mismas. De este modo, Mr. Walson dispuso una antena al final de un poste y lo instaló en lo alto de una montaña cercana.

La señal recibida era transportada mediante un cable de pares hacia el almacén de Mr. Walson, donde expuso sus televisores - esta vez con imágenes (figura 2.30). Las ventas se dispararon, en junio de 1948, John había conseguido llevar la señal a varias casas de Mahanoy City y los clientes de su nuevo servicio de televisión le pagaban 2 dólares mensuales. Acababa de nacer el primer operador de cable de la historia. el cual continúa en funcionamiento, se llama Service Electric Cablevision, opera en varias ciudades de Pennsylvania y New Jersey, y tiene cerca de 300.000 clientes.

Figura 2.30: Principios de Redes HFC

Fuente: Curso Basico CATV Capitulo 01. (s/f). Slideshare.net. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://es.slideshare.net/ingenia-t/curso-basico-catv-capitulo-01> [32]



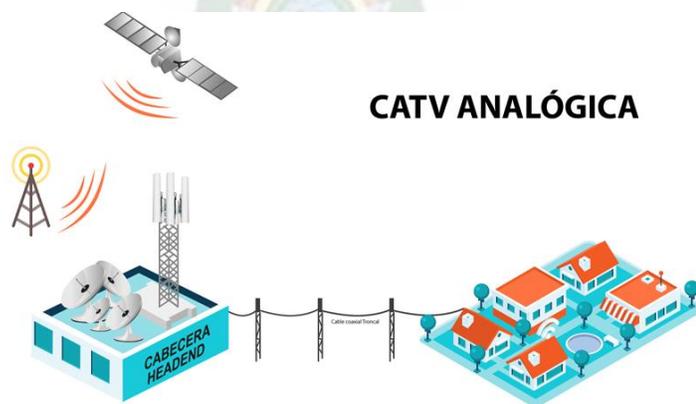
Nota En un principio se utilizaba redes Coaxiales para difundir las señales de TV en zona con obstrucciones naturales

El equipamiento de recepción (antenas, receptores, etc.) y acondicionamiento de señal (convertidores de norma, moduladores, etc.) se encuentran en la cabecera del sistema. A todas las señales entrantes, independientemente de su origen, se les aplicaba FDM (Frequency Division Multiplexing: Multiplexación por División de Frecuencia), se amplificaban, y se transmitían en sentido descendente para distribución (Curso Basico CATV Capítulo 01, s/f [32]).

Con el tiempo fueron aumentando el ancho de banda de las redes desde los 220 MHz a 330 MHz, 450 MHz y 550 MHz, a fin de sumar canales. Estas redes tenían en principio una disposición “árbol y rama”, que consistía de una red troncal formada por cable coaxial de gran diámetro (para reducir las atenuaciones propias del cable) y una cascada de amplificadores para compensar la pérdida de la señal en el cable coaxial, desde la cual se derivaban, las redes de distribución formada por amplificadores de mayor ganancia y los pasivos, como ser divisores, acopladores y los tap's o derivadores desde donde se conectaban los usuarios a través de cables coaxiales flexibles un ejemplo se puede apreciar en la figura 2.31 (Alejandro, A. 2011 [33]).

Figura 2.31: Red Catv

Fuente: (CATV-ANALOGICA-final. (s/f). kroton. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://www.kroton.com.pe/soluciones/catv/catv-analogica-final/> [34])



Nota. Las redes de CATV tienen su inicio en Cabeceras, luego se difunden las señales colectadas.

Además de ser unidireccional, las largas cascadas de amplificadores ocasionaban ruido y eran inherentemente poco fiables y propensos a fallas.

Los MSO (Multiple System Operator: Operadores de Sistemas Múltiples) de América del Norte formaron Multimedia Cable Network Partners Sistema, Ltd. (MCNS), con el propósito de definir una norma de producto y sistema capaz de proporcionar datos y servicios futuros sobre las plantas de CATV.

MCNS propuso una solución basada en paquetes IP (Internet Protocol: Protocolo de Internet). La especificación DOCSIS 1.0 resultó del esfuerzo de la MCNS y fue aceptado por unanimidad como el estándar de América del Norte, y el cuerpo del estándar fue adoptado por la SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers: Sociedad de Ingenieros de Telecomunicaciones por Cable) y luego por el ANSI (American National Standards Institute: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) (Jiménez, 2022 [35]).

El estándar DOCSIS 1.0 prescribe la interoperabilidad de múltiples proveedores y promueve un modelo de cliente de un CM (Cable Modem: Módem de Cable) y el CMTS (Cable Modem Termination System: Sistema de Terminación de Cable Módem) de cabecera. CableLabs, en conjunto con las comunidades de proveedores y usuarios, definió luego DOCSIS 1.1 para el propósito de apoyar VoIP (Voice over IP: Voz sobre Protocolo de Internet) y seguridad avanzada. Las siguientes versiones de DOCSIS: 2.0, 3.0 y 3.1, fueron introduciendo mejoras tanto en seguridad, como así también en velocidades de transmisión de datos.

2.7.2 Evolución de Redes HFC de una a dos Vías.

La primera mejora importante a la planta de CATV fue la introducción de la tecnología de fibra óptica y el advenimiento de la planta HFC. Las porciones del cable coaxial y los elementos de soporte de amplificación troncal se remplazan con cable óptico multi fibra desde la cabecera.

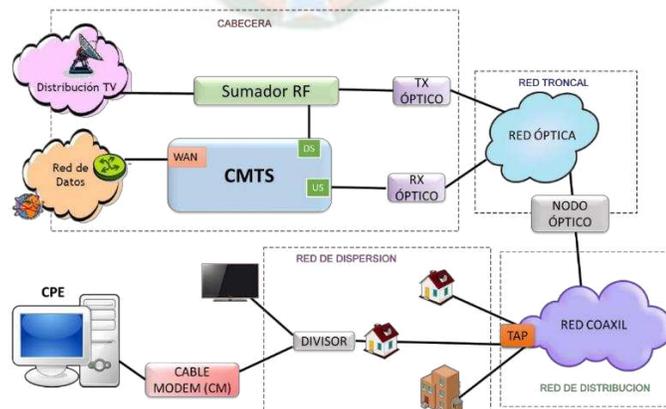
La señal de RF se utiliza para modular un láser de directa, que transmite la señal óptica a un nodo óptico, que a su vez la convierte en una señal eléctrica.

La reducción del número de amplificadores produce una mejora en la fiabilidad del sistema, la SNR (Signal to Noise Ratio: Relación Señal a Ruido) de la señal de vídeo, y el ancho de banda potencial del sistema. (Settecase, 2018 [36]).

El funcionamiento bidireccional se consigue mediante la adición de los amplificadores de retorno, además de un láser de retorno de banda estrecha en el nodo óptico, una fibra dedicada de retorno y, en la cabecera, un receptor óptico compatible para convertir cualquier información en una señal eléctrica (Settecase, 2018 [36]).

Figura 2.32: Arquitectura de una Red HFC Bidireccional

Fuente : Settecase, J., & Completo, V. mi P. (2018). *Introducción Redes HFC, CMTS y DOCSIS*. Blogspot.com. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://juansettecase.blogspot.com/2018/03/introduccion-redes-hfc-cmts-y-docsis.html> [36]

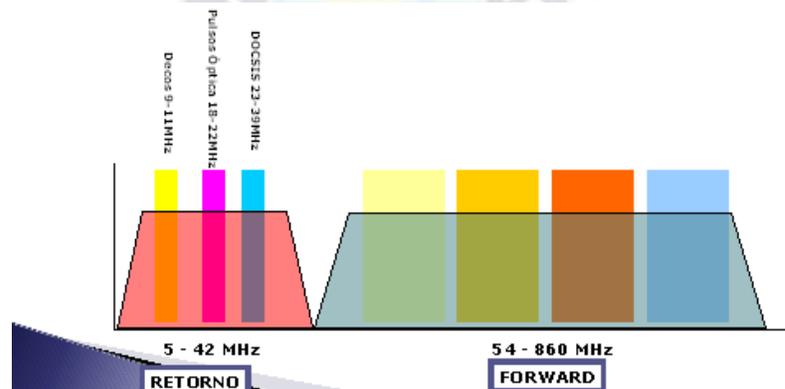


2.7.3 Ancho de Banda Retorno y Forward.

El ancho de banda “ Es la medida en Frecuencia (Hz) del espacio que tiene un canal para enviar información” (Diaz, 2014 [37]), entre más amplio sea en ancho de banda, más información y variedad de servicios se transportan por esa amplia carretera en una red CATV se evidencian dos tipos de anchos de canal estos son de Retorno y Forward mostrados en la Figura 2.33.

Figura 2.33: Canal de Retorno y Forward

Fuente: Diaz, M. A. R. (2014, febrero 13). *Inducción a las Redes HFC*. Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos99/inducion-redes-hfc/inducion-redes-hfc> [37]



2.7.4 La Fibra Óptica en las redes HFC.

La utilización de la fibra óptica en la distribución en principio de señales de televisión, y luego para la transmisión de datos, ha sido posible gracias al desarrollo de láseres con características de linealidad suficientes para producir distorsiones mínimas en las señales AM-VSB (Amplitude Modulation Vestigial Side Band: Modulación de Amplitud con Banda Lateral Vestigial) a transportar. Las redes HFC, al introducir la transmisión por fibra óptica en la red de acceso, minimizan las distorsiones, introducidas por las cadenas de amplificadores. La atenuación de la fibra es mucho menor que la del cable coaxial, lo que permite que se prolonguen las distancias a cubrir.

Una ventaja de las redes HFC es el hecho de posibilitar la transmisión de datos desde el usuario hacia la cabecera. Esto se consigue por división en frecuencia, dedicando la parte baja del espectro (de 5 a 42 MHz típicamente) en transmisión del usuario a la cabecera.

En las redes HFC los dominios de interferencia quedan reducidos a los tramos donde se mantiene la utilización del cable coaxial, de manera que solamente comparten ancho de banda usuarios servidos por cada tramo. Las cabeceras (o Headends) se comunican a través de fibra óptica con los nodos primarios (o Hubs), generalmente distantes de la misma y que alimentan áreas que atienden entre miles y decenas de miles de usuarios.

Desde la cabecera hasta el Hub superior se dispone una fibra punto a punto. Los sistemas ópticos troncales pueden trabajar en la segunda (1330 nm) o tercera (1550 nm) ventana óptica. Los sistemas en tercera ventana tienen la ventaja de tener alcances mayores debido a que la atenuación de la fibra a estas longitudes de onda es mínima.

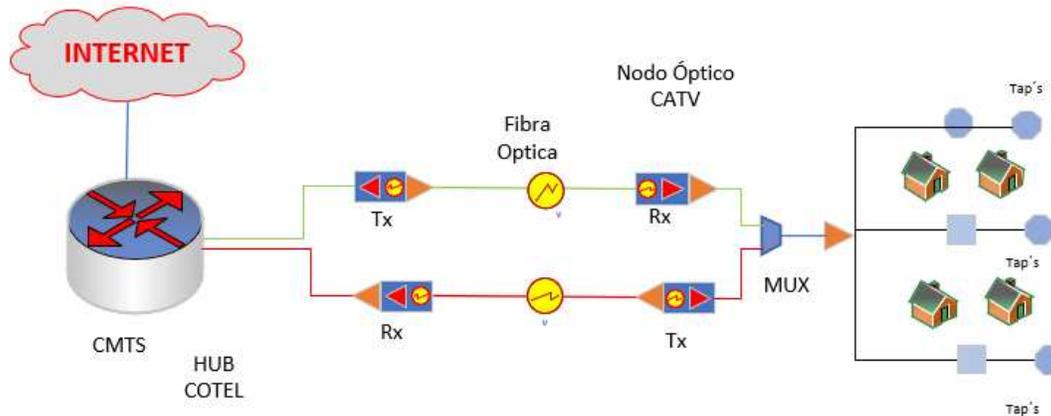
Por lo que respecta a los trayectos de transmisión de usuario a cabecera en la red troncal, una primera solución consiste en mantener los dominios de compartición 58 del ancho de banda ascendente (y, consecuentemente, los dominios de colisión) circunscritos a cada área atendida por la red de cable coaxial, es decir, al área atendida por un nodo óptico (Jiménez, 2022 [35]).

El canal descendente (que es el de mayor ancho de banda potencial) se comparte por todos los usuarios. Esta sencilla configuración solamente requiere instalar un transmisor óptico en sentido ascendente en el nodo óptico, un amplificador en los nodos primarios y tendidos de fibra punto a punto entre cada nodo y la cabecera. En caso de que los Hubs atiendan a miles o decenas de miles de usuarios, la solución más adecuada y extendida en la actualidad consiste en utilizar sistemas de terminación de módems de cable (CMTS) en cada Hub, accediendo a ellos a través de una red de transmisión convencional, por ejemplo, SDH (Synchronous Digital

Hierarchy: Jerarquía Digital Síncrona) sobre fibra óptica, manteniendo los servidores en la cabecera.

Figura 2.34: F.O. En Redes HFC

Fuente: Propia, en base a Norma Docsis



En la Figura 2.34 se puede apreciar la configuración de la red HFC para el aprovisionamiento de Internet desde el Hub Principal hasta el Nodo CATV de Cotel R.L. El equipo CMTS (Cable Modem Termination System) debe de Transmitir una señal RF de modulación QAM, la que se denomina Downstream y Recibir otra señal de RF denominada UpStream, estas señales son transportadas hacia el NODO CATV mediante 2 hilos de fibra óptica (Dow y Up) utilizando equipos conversores de Óptico - Eléctricos de Transmisión y Recepción, asimismo, mediante la red comprendida de amplificadores y Coaxial se logra la interconexión con el equipo terminal de usuario denominado Cablemodem.

2.8 Redes de Fibra Óptica

Las redes ópticas se encargan de descomprimir y destrabar los cuellos de botella producidos en las redes de acceso, ofreciendo un ancho de banda flexible capaz de soportar los nuevos servicios de telecomunicaciones aumentando la calidad de los mismos, estos prometen a

los usuarios un enorme incremento en el ancho de banda de la red de acceso hasta cientos de Gbps.

Evidentemente, las principales características que se buscan en estos equipos son un bajo costo, la facilidad de gestión, facilidad de configuración y mantenimiento remoto. Existen varias arquitecturas posibles de uso de la fibra (Redes de Fibra Óptica: todo lo que necesitas saber. 2019 [38])

2.8.1 Redes FTTx.

El término FTTx (Fiber to the «x») fibra hasta «x», se emplea de forma genérica para designar a la tecnología que emplea fibra óptica para comunicar a los usuarios de un acceso de red (normalmente acceso a Internet) con la red de una operadora de telecomunicaciones (o proveedor de servicios de acceso a redes), en algunos tramos (Arias, 2021 [39]).

Toda la evolución referida a la mejora de la banda ancha, ha estado siempre relacionada con ir trasladando la fibra cada vez **más cerca** del lugar donde se va a utilizar. En este sentido, las redes FTTx, todas ellas, han supuesto una enorme ventaja y avance, este es que la velocidad de transmisión de la conexión ha ido mejorando en mucho, debido a la cercanía y además, se consume mucha menos energía en el proceso (Arias, 2021 [39]).

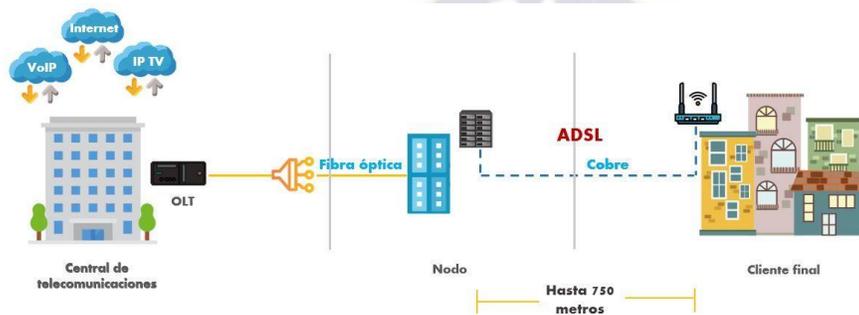
2.8.1.1 FTTN Fiber to the Node.

Este término hace referencia al empleo de fibra desde la central principal de la red del operador hasta un nodo intermedio, es decir, una central secundaria del operador. Se puede considerar una central principal, a la que concentra la conectividad de una región, y las centrales secundarias, a las desplegadas en pueblos pequeños. si la ciudad es grande, pueden existir varias centrales principales, y luego varias centrales secundarias por barrios.

Se emplea para atender a unos cientos de clientes; debe estar dentro de un radio de una milla. La distancia restante a la casa, a menudo conocida como la «última milla», puede usar DSL a través de las líneas telefónicas existentes. La proximidad del cliente al nodo y los protocolos de entrega determinan las tasas de datos (Arias, 2021 [39]).

Figura 2.35: Arquitectura Fibra Hasta el Nodo¹⁶

Fuente: Vargas, C. (2020b, septiembre 30). *Introducción a las redes FTTX*. SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/> [40])



2.8.1.2 FTTC Fiber to the Cabinet.

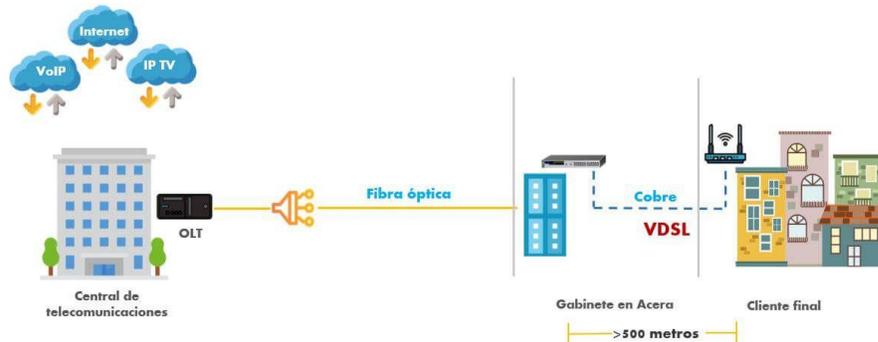
Hace referencia al empleo de fibra desde la central de la red del operador hasta un nodo intermedio; no se refiere a una acera de concreto. Es el poste o armario que alberga el dispositivo de comunicaciones montado como un pedestal o una central pequeña que da servicio a varias manzanas. El resto del trayecto habitualmente se emplea el par de cobre de telefonía (para ofrecer accesos ADSL, VDSL, etc.) o cable coaxial.

Sin embargo, el ancho de banda se pierde durante esta entrega, se pueden atender a varios clientes dentro de 1,000 pies (Vargas, 2020 [40]).

¹⁶ En el ejemplo se tiene Fibra óptica hasta un DSLAM ADSL en sub centrales

Figura 2.36: Arquitectura Fibra Hasta la Acera (Gabinete)¹⁷

Fuente: Vargas, C. (2020b, septiembre 30). *Introducción a las redes FTTX*. SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/> [40]

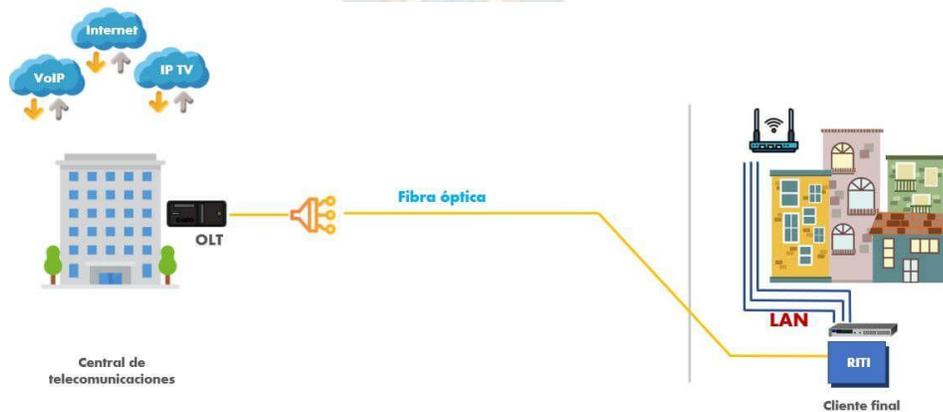


2.8.1.3 FTTB Fiber to the Building.

La conexión de fibra óptica hasta el edificio hace referencia a la conexión por fibra que llega hasta un lugar dentro del edificio, por ejemplo: el RITI (caja de distribución principal de un edificio). Desde ese punto, la conexión hasta el usuario reutiliza la infraestructura existente, bien redes LAN basadas en Ethernet, distribuciones basadas en cable telefónico o coaxial. Es común su uso en grandes urbanizaciones residenciales privadas, edificios empresariales, hospitales, complejos hoteleros, centros deportivos, etc. (Vargas, 2020 [40]).

Figura 2.37: Arquitectura Fibra Hasta el Edificio

Fuente: Vargas, C. (2020b, septiembre 30). *Introducción a las redes FTTX*. SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/> [40]



¹⁷ La fibra óptica se instala en planta externa fuera de subcentrales

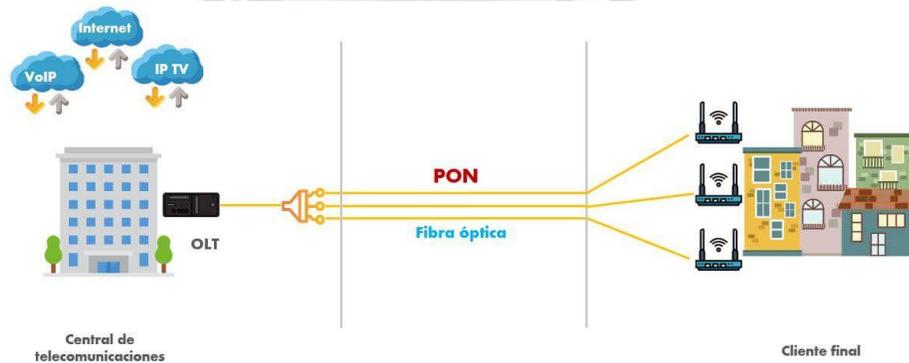
2.8.1.4 FTTH Fiber to the Home.

Se trata del tipo de redes más extendidas en el mercado residencial, de forma que dejan en la vivienda una caja terminal óptica y un equipo que hace de ONT.

Se mueve entre la caja de interruptores de línea de la propiedad y las cajas de conexiones de los residentes. Debido a que la conexión va directamente a residencias individuales, ofrece un mayor ancho de banda. Sin embargo, es costoso instalarlo en algunas áreas. Además, se debe tener presente como desventaja que en una casa FTTH si un operador necesita instalar una línea eléctrica separada. Las señales de energía e Internet no se mueven juntas en fibra óptica (Vargas, 2020 [40]).

Figura 2.38: Arquitectura Fibra Hasta el Domicilio¹⁸

Fuente: Vargas, C. (2020b, septiembre 30). *Introducción a las redes FTTX*. SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/> [40]



2.8.1.5 FTTA Fiber to the Antenna.

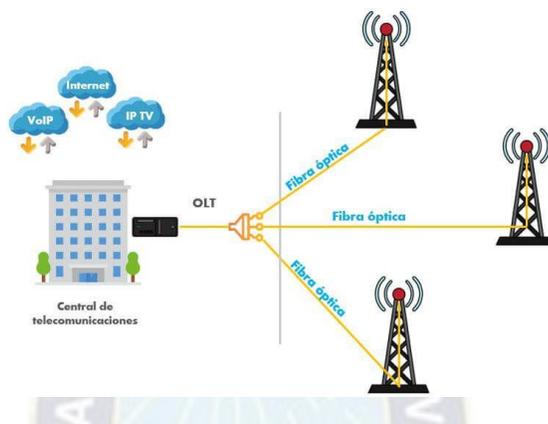
Es una arquitectura inalámbrica donde la fibra óptica se distribuye hasta la parte superior de la torre, de modo que sustituye gran parte de lo que, tradicionalmente, se solía completar con cableado coaxial más pesado. Componentes importantes como las unidades de radio remotas

¹⁸ La fibra óptica llega hasta el domicilio del usuario

(RRU) también se colocan en la parte superior de la torre en lugar de la base. óptica (Vargas, 2020 [40]).

Figura 2.39: Arquitectura Fibra Hasta la Antena

Fuente: Vargas, C. (2020b, septiembre 30). *Introducción a las redes FTTX*. SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/> [40])



2.9 Redes Ópticas Pasivas.

2.9.1 Introducción a las tecnologías PON.

La red óptica pasiva (PON) es una clase muy importante de sistema de acceso de fibra en el mundo y disfruta de una posición dominante en el mercado de acceso. GPON y EPON son las dos clasificaciones de PON. Las principales diferencias entre el GPON y el EPON se encuentran en los protocolos utilizados para las comunicaciones ascendentes y descendentes. Este artículo introducirá PON, GPON y EPON secuencialmente.

2.9.2 Redes ópticas pasivas (PON)

Una PON es una red de fibra que solo utiliza componentes de fibra y pasivos, como los divisores y combinadores de PON, en lugar de componentes activos como amplificadores, repetidores o circuitos de configuración. Por lo tanto, la red PON cuesta significativamente menos que aquellos que usan componentes activos, pero tiene un rango de cobertura más corto limitado por la intensidad de la señal. Una red óptica activa (AON) puede cubrir un rango de

hasta 100 km (62 millas), mientras que una PON se limita típicamente a tendidos de cable de fibra de hasta 20 km (12 millas). PON también se denomina red FTTH (fibra para el hogar).

La disposición PON típica es una red punto a multipunto (P2MP) donde un terminal de línea óptica central (OLT) en las instalaciones del proveedor del servicio distribuye servicios de TV o Internet a entre 16 y 128 clientes por línea de fibra. Dividiendo una única señal óptica en múltiples señales iguales, pero de menor potencia, los divisores ópticos distribuyen las señales a los usuarios. Una ONU (unidad de red óptica) termina la PON en la casa del cliente. Por lo general, la ONU se comunica con ONT (terminal de red óptica). La ONU / ONT puede ser un dispositivo.

2.9.3 Redes ópticas pasivas Gigabit (GPON)

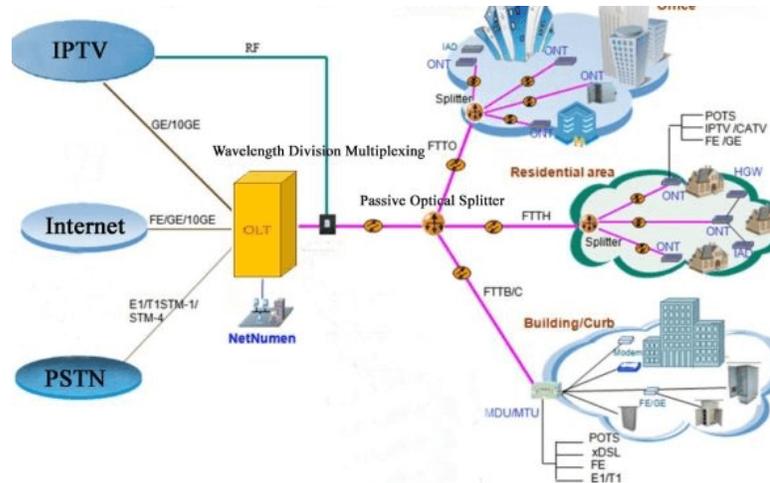
GPON utiliza la multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM, por sus siglas en inglés), por lo que se podría usar una sola fibra para los datos ascendentes y descendentes. Un láser en una longitud de onda de 1490 nm transmite datos en sentido descendente, mientras que los datos en sentido ascendente transmiten en una longitud de onda de 1310 nm.

Si bien cada ONU obtiene la tasa de flujo descendente total de 2.488 Gbits / s, GPON utiliza un formato de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para asignar un intervalo de tiempo específico a cada usuario. Divide el ancho de banda, por lo que cada usuario obtiene una fracción como 100 Mbits / s, dependiendo de la forma en que el proveedor de servicios lo asigna. La velocidad ascendente es menor que la máxima, ya que se comparte con otras ONU's en un esquema TDMA. La distancia y el retraso de tiempo de cada suscriptor están determinados por la OLT. Luego, el software proporciona una manera de asignar intervalos de tiempo a los

datos ascendentes para cada usuario. La división típica de una sola fibra es 1:32 o 1:64, lo que significa que cada fibra puede atender hasta 32 o 64 suscriptores conforme a la figura 2.40, en algunos sistemas son posibles relaciones de división de hasta 1: 128 (Fandiño,2020 [41]).

Figura 2.40: Red Óptica Pasiva

Fuente: Damon. (2022, enero 4). *¿Qué es GPON (Redes GPON)?* VSOL. <https://es.vsolcn.com/blogs-detail/what-is-gpon-gpon-networks-22> [42]



2.9.4 Componentes de una red GPON

- OLT (Optical Line Terminal)
- Distribuidor de Fibra Óptica (ODF)
- Splitter 1x2, 1x4, 1x8, 1x16
- Fiber Distribution Terminal/Hub (FDT)
- Fiber Distribution Box (Caja de Empalme)
- Fiber Outlet Box (Roseta)
- Optical Network Terminal (ONT)
- Optical Distribution Box (CTO caja NAP)

2.9.4.1 OLT (Optical Line Terminal).

Como se mencionó anteriormente, la OLT es el equipo que se encuentra en la oficina central. Tiene interfaces con IP/MPLS, NGN, IMS, servidor IPTV u otros. Cada puerto PON alimenta un máximo de 64 clientes. Las tarjetas GPON generalmente tienen 8 puertos PON (cada

puerto alimenta a 64 clientes), además, existen OLT's Modulares que pueden soportar 16 tarjetas (Ver Figura 2.41) dependiendo de la marca y el modelo. Las OLT antiguas instaladas antes de 2012 pueden tener 14 o 16 tarjetas con 4, 8 o 16 puertos PON en cada tarjeta (Fandiño, 2020[41]).

Figura 2.41: OLT de Distintas Capacidades



El equipo OLT debe cumplir las normas que garanticen su normal funcionamiento, en este caso la norma vigente para este tipo de equipamiento es la norma G984, en la Tabla 2.3, se detallan valores de potencia y sensibilidad registrados en la red de FTTH de COTEL, estos valores serán de suma importancia al momento de realizar cálculos de RED externa.

Tabla 2.3: Niveles de Potencia Óptica Registrados en la red FTTH de COTEL

Fuente: Gerencia de Planificación e Ingeniería COTEL¹⁹

Característica	Unidad	Valor	Observaciones
OLT:		OLT	
Mínima potencia media de salida (1490 nm)	dBm	+2,5	Con SFP B+
Máxima potencia media de salida (1490 nm)	dBm	+7	Con SFP C++
Mínima sensibilidad	dBm	-28	
Mínima sobre carga	dBm	-8	
ONU:		ONU	
Mínima potencia media de salida (1310 nm)	dBm	+0,5	ONU ZTE 670L
Máxima potencia media inyectada (1310nm)	dBm	+3	ONU ZTE 670L
Mínima sensibilidad	dBm	-28	
Mínima sobrecarga	dBm	-8	

¹⁹ En entrevista con Ingeniero Alfredo Santander Encargado de Planta Externa COTEL R.L.

2.9.4.2 Distribuidor de Fibra Óptica (ODF)

Facilita la conexión entre la OLT y la Fibra Troncal con acopladores. Los tamaños típicos de ODF son 24F/48F/72F/96F/144F, en la figura 2.42 se puede apreciar dos modelos con distintas capacidades de distribuidores de Fibra Óptica.

Figura 2.42: Distribuidores de Fibra Óptica



2.9.4.3 Splitter.

Los splitters son dispositivos pasivos que dividen las señales ópticas por igual en la relación desde 1:2 hasta 1:64, cuyas atenuaciones se reflejan en la Tabla 2.4, lo que introduce la pérdida óptica en función de la relación de división. Esta relación está determinada por la topología de la red como se describe en este documento para los diferentes escenarios de OSP.

Los splitters pueden ubicarse en la Oficina Central (Central Office), dentro del ODF, dentro del terminal de distribución de fibra (FDT) exterior/interior, en cajas de empalme, en registros en pozos y en pozos. También se pueden instalar en un edificio en caso de unidades de vivienda múltiple (MDU) en un OSB (Optical Splitter Box).

Tabla 2.4: Relación de Atenuaciones de Splitter

Fuente: [https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2016/08/12/equipos-utilizados-en-las-instalaciones-ftth-de-movistar-9a-parte-distancia-maxima-en-una-red-ftth/\[43\]](https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2016/08/12/equipos-utilizados-en-las-instalaciones-ftth-de-movistar-9a-parte-distancia-maxima-en-una-red-ftth/[43])

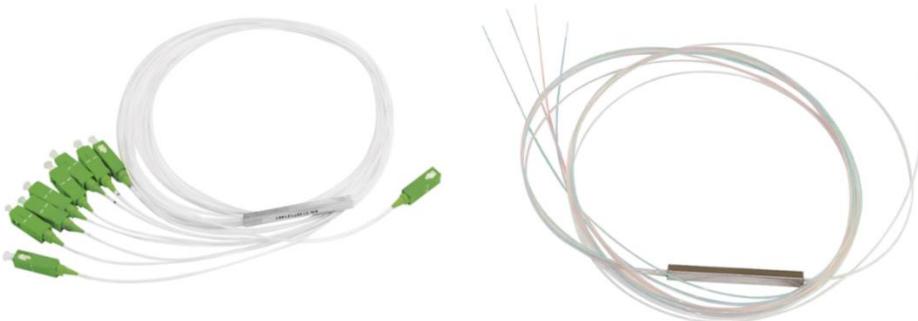
	Min	Max	
Atenuación en divisor 1:16	12,2	13,5	dB
Atenuación en divisor 1:4	6,5	7,3	dB
Atenuación en divisor 1:2	3,2	3,7	dB
Atenuación en fibra a 1310 nm	0,33	0,35	dB/km
Atenuación en fibra a 1490 nm	0,2	0,25	dB/km
Atenuación en empalme por fusión	0,01	0,1	dB
Atenuación en cada conector	0,1	0,3	dB

Cada vez que la señal se divide en dos, la mitad de la potencia se va en una dirección y la otra mitad en la otra. Entonces, cada dirección recibe la mitad de la potencia, o la señal se reduce en: $10 \log (0.5) = 3 \text{ dB}$.

La pérdida práctica es de 3.5 dB nominal, por lo que cada división 1:2 cuesta aproximadamente 10 km de distancia a 1330 nm.

Los splitters están disponibles con conectores con uno o dos conectores de entrada y varios de salida o sin conectores (para fusionar). La entrada del splitter también se puede unir al cable de alimentación en el ODF.

Figura 2.43: Splitter Ópticos



2.9.4.4 Fiber Distribution Box (Caja de Empalme).

Las cajas de empalme (Ver figura 2.43) sirven para conectar la troncal primaria con la troncal secundaria y pueden ir aéreas o bajo tierra. Las más comunes en el mercado son de 24, 72 y 96 empalmes.

Figura 2.44: Cajas de Empalmes Ópticos (Mufas)



2.9.4.5 Fiber Outlet Box.

También llamada roseta (Ver Figura 2.44), es el último punto de conexión dentro de las instalaciones del cliente antes de llegar a la ONT. Generalmente cuenta con un acoplador.

Figura 2.45: Roseta Óptica



2.9.4.6 Cajas NAP.

Caja de distribución óptica mostrada en la figura 2.46, es utilizada usada como un punto de terminación para conectar el cable de alimentación con el cable drop en una red FTTx.

Figura 2.46: Caja NAP



2.9.4.7 Optical Network Terminal

La ONT se coloca directamente en las instalaciones del cliente. Admite una mezcla de servicios de telecomunicaciones que convierte la señal óptica en señal electrónica. Algunas ONT vienen preparadas para operar como punto de acceso para proporcionar una conexión inalámbrica y puertos para servicio de telefonía.

Figura 2.47: Equipo Terminal de Usuario ONT



2.10 Análisis del Sistema EoC

2.10.1 Introducción

El crecimiento urbanístico a nivel nacional y en especial por la nueva normalidad generada por la pandemia del COVID 19, ha ocasionado que la demanda de los servicios de acceso a la información, entretenimiento y educación se incremente.

Ante esta situación, las empresas ISP tienen la necesidad de innovar en tecnologías de acceso tales como redes xDSL, HFC, PON o Sistemas Inalámbricos, asimismo, deben de plantear estrategias innovadoras que permitan cumplir con las expectativas técnicas para que el usuario final pueda acceder a la red de Internet con un tráfico de alto volumen.

Habiendo considerado diferentes tecnologías de acceso es necesario evaluar las aplicaciones de las mismas en distintos escenarios, aunque es evidente que la cúspide de estas topologías de acceso es la FTTH (Fibra hasta el hogar), sin embargo, un análisis Técnico – Económico hace que se consideren las redes FTTB y FTTC que requieren de inversiones menores siendo que su red de Acceso de última milla se encuentra instalada.

2.10.2 Sistema EoC

Uno de los medios de transmisión que resalta ante otros tipos de cables conductores estudiados en acápite anteriores, es el cable coaxial, debido a su alto aislamiento ante el ruido y trabajo eficiente en rangos de frecuencias altas, superiores a 10 GHz; esta cualidad es aprovechada para el transporte de datos vía Ethernet. Asimismo, es bien sabido que una de las primeras redes para el transporte de mayores anchos de banda existentes a nivel global fue la red HFC, además, se ha realizado el tendido de miles de kilómetros de cable coaxial en todo el país y no es preciso ni rentable suplir toda esta infraestructura por líneas de transmisión de mayor ancho de banda como redes de Fibra Óptica; o por lo menos no tomar esta decisión de manera inmediata.

EOC (Ethernet Over Cable) es una tecnología de acceso basada en la red de cable coaxial CATV, la misma utiliza el protocolo Ethernet.

El principio básico es utilizar una tecnología de conversión de medios específico (que incluye principalmente conversión de impedancia, conversión balanceada / no balanceada, etc.) para transmitir señales de datos que cumplen con la serie de estándares 802.3 a través del cable coaxial doméstico. Esta tecnología puede aprovechar al máximo los recursos de cable coaxial existentes de la red de televisión por cable para resolver el problema de acceso de última milla.

Otra característica que ofrece el sistema EoC es que es más robusto ante el ruido originado por la red, esto gracias al modelo de red típica NODO + 0, lo que reduce significativamente el impacto de ruido sobre el servicio, esto es posible gracias al tipo de modulación (OFDM), que presenta resistencia en la variación de la tasa de símbolos según sea necesario. Cuando el nivel de ruido aumenta y hace que aumente la tasa de error de bits, el sistema puede cambiar el esquema de modulación digital, esta adaptación permite que se pueda hacer frente a aumentos repentinos de ruido ocasional en la trayectoria de la señal.

Además, esta tecnología ya ha sido implementada en varios sectores de la región latinoamericana, como ser: Ecuador, Colombia, Argentina, Perú entre otros; ya que EoC posee una flexibilidad más robusta que la tecnología DOCSIS, la cual es de preferencia de otros cableoperadores. Sin embargo, DOCSIS tiene al igual que todas las tecnologías algunas limitaciones que EoC ha logrado superar.

2.10.3 Características.

Las empresas deben considerar diferentes opciones para desplegar sus redes de transporte de datos, incluyendo el uso del cableado y la infraestructura física existentes. Al respecto cabe mencionar que aprovechar los cables actuales es una medida sencilla, puesto que basta con utilizar soluciones EoC (Ethernet sobre Coaxial), para habilitar el servicio de Internet.

Las limitaciones físicas no pueden frenar las innovaciones corporativas. Recordando que el cable coaxial es totalmente confiable y ofrece ventajas adicionales, tales como alcanzar distancias extendidas, resistencia, durabilidad y la posibilidad de enviar flujos de video más compactos.

La instalación de un sistema EoC sobre redes HFC es sencilla, plug and play, y su despliegue es rápido, sin necesidad de volver a cablear, que pueden ocasionar molestias; En la actualidad, la mayor parte de la tecnología EOC puede proporcionar 100 Mbps o más de ancho de banda, la inmunidad al ruido es mucho mayor que CMTS, y en consecuencia puede trabajar en un entorno de red áspero,

El modelo utilizado tiene la ventaja de tener un pequeño tamaño y peso ligero, por ello es posible instalarlo en, edificios, pasillos y distritos.

El sistema es Seguro y Confiable, su funcionamiento es estable, económico y práctico; La interfaz de TV puede ser compatible con todos los equipos de TV por cables convencionales, como demultiplexor, televisor, máquina emisora de luz, etc.

La interfaz de datos es compatible con todos los dispositivos Ethernet, como switches, routers, decodificadores, cámaras de videovigilancia, etc.

La Ethernet sobre Coaxial (EoC) es una opción tecnológica confiable, que presenta como bondades más destacables su simplicidad de diseño y aplicación, instalación sencilla y datos robustos y fiables, esta tecnología posibilita una migración a IP escalonada, aprovechando el cableado existente en la empresa y con buena relación costo-beneficio resumiéndose en los siguientes puntos:

- Utiliza WDM para transmitir CATV e Internet por un pelo de Fibra Óptica.
- Adopta Home Plug Powerline Alliance utilizando frecuencias de 5 a 30 MHz en RF.
- Usa OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que tiene una alta capacidad anti-interferencia y baja pérdida en la transmisión de datos de la red.

- Internet puede funcionar con 55 dB de pérdida en RF desde el nodo óptico a la terminal lo que le da un alcance de hasta 800 mts sin activos en RF.
- Los proyectos de implementación son muy simples y no requieren mantenimiento de la línea.
- Fácil de integrar con switches, transceiver, ONU, GePON o GPON.
- Las terminales de usuario no requieren configuración, son PnP (DHCP, PPOE, IP).
- Soporta VLAN y QoS.
- Soporta SNMP, administración local o remota.

2.10.4 Nodo Maestro EoC

Existen varios modelos de equipos Maestros EoC (Interior y Exterior), en esta oportunidad destacaremos el modelo DC-7114/WDM, todo en uno, en lugar de tres tipos de productos, nodo óptico HFC, EPON/GPON ONU y EoC maestro, se puede reducir la cantidad de nodos activos en el sistema, disminuyendo la tasa de fallas y ahorrando espacio.

En la tabla 2.5 se muestra un detalle de las características Técnicas del Nodo Maestro EoC, en la cual se aprecian los alcances y limitantes de este equipo. Asimismo, se podrá verificar sus parámetros que son muy importantes al momento de realizar el diseño del sistema.

Tabla 2.5: Características Técnicas del Nodo EoC Master Todo en Uno
Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/500MBPS-building-eoc-master-Ethernet-over-1639022351.html> [44]

Artículo	Parámetro
	1 * EoC con Qualcomm AR7410 chipset 1 * o.n.u. 1 * nodo óptico (Admite la colocación personalizada;

<p style="text-align: center;">Los módulos</p> 	<p>Módulo de conmutación y módulo de gestión de energía es opcional)</p>
<p>La tasa de transmisión</p>	<p>350Mbps</p>
<p>Señal RF: datos Ethernet</p>	<p>Rango de frecuencia: 2 35 35Mhz o 7,5 ~ 67,5 Mhz: nivel de salida: ≥ 110dBuv</p>
<p>La señal de RF: CATV</p>	<p>Rango de frecuencia: 47-862Mhz o 87-1000Mhz</p>
	<p>Pérdida de devolución: 16db</p>
	<p>Pérdida de inserción: 11db</p>
	<p>Plano en la banda: dB 0.75dB</p>
	<p>Rango AGC: -6dB ~ + 1dB</p>
	<p>RF/EQ ajustable</p>
	<p>C/N: ≥ 51dB (1dBm); C/CTB: ≥ 65dB</p>
	<p>C/CSO: ≥ 60dB Nivel de salida RF: ≤ 108dBuv</p>
<p>Señal óptica: datos Ethernet</p>	<p>Puerto óptico: 1 puerto PON</p>
	<p>Tipo de fibra óptica: SMF (fibra de modo único)</p>
	<p>Conector de fibra óptica: SC/PC</p>
	<p>FWD longitud de onda: 1310nm Inversa longitud de onda: 1490nm</p>
<p>Señal óptica: CATV</p>	<p>Longitud de onda: 1100 nm 1600nm</p>
	<p>Rango de potencia óptica: -8 ~ + 3dBm (recomendado: -4 ~ + 2dBm)</p>
	<p>Tipo de fibra óptica: SMF Conector de fibra óptica: FC/APC o SC/APC</p>
<p>Tipo de puerto</p>	<p>Conector F</p>
<p>Salida de RF Impedancia</p>	<p>75Ω</p>
<p>Estándar</p>	<p>Home Plug AV 2, IEEE 802,3, IEEE 802.3x, IEEE 802.3u</p>
<p>Protocolo</p>	<p>TDMA/CSMA</p>
<p>Modulación</p>	<p>OFDM apoyo QAM/4096/1024/256/64/16/8 QPSK... BPSK</p>
<p>Distancia de transmisión de</p>	<p><700M (<60dB) Max.1000M</p>
<p>Seguridad</p>	<p>Cifrado AES de 128 bits</p>
<p>Atenuación máxima</p>	<p><60dB</p>
<p>QoS</p>	<p>802.1Q 802,1 P</p>
<p>Los puertos</p>	<p>1 * PON la entrada</p>
	<p>1 * entrada óptica CATV</p>

	2 * salida de datos mixta CATV + Ethernet
Fuente de alimentación	AC220/110/60V
Medio ambiente Estado	Temperatura de almacenamiento: -50 ~ 85 °C
	Humedad de almacenamiento: 5% ~ 95% (sin condensación)
	Temperatura de trabajo: -20 ~ 70 °C
	Humedad de trabajo: 5% ~ 95% (sin condensación)
Consumo de energía	≤ 18W
Carcasa	Caja de aleación de aluminio de tipo exterior

2.10.4.1 El Módulo Maestro.

Está basado en la solución de chipset Qualcomm AR7410, con alta tecnología anti-interferencia OFDM. La banda de frecuencias bajas de 7.5-65 MHz se utiliza para señales EOC. Construido en filtro de aislamiento alto como CATV RF y mezclador de la señal de EOC, la señal de EOC y la señal de CATV en 87 ~ 862MHz pueden funcionar en un cable sin interferencia. El Maestro EOC puede proporcionar servicio de datos de alta velocidad. La velocidad de la capa PHY es de 600 Mbps, la capacidad de la capa MAC es de hasta 320 Mbps.

2.10.4.2 El módulo OR.

Puede proporcionar una entrada óptica HFC y una salida RF. La señal CATV convertirá de óptica a señal RF aquí. El módulo OR es un producto receptor óptico de alta calidad. Recibió la señal óptica de la TX de la red HFC, y la señal procesada por el PIN, amplificador, EQ y AGC a una salida de RF estable. El nivel de salida será de hasta 108 dBuV.

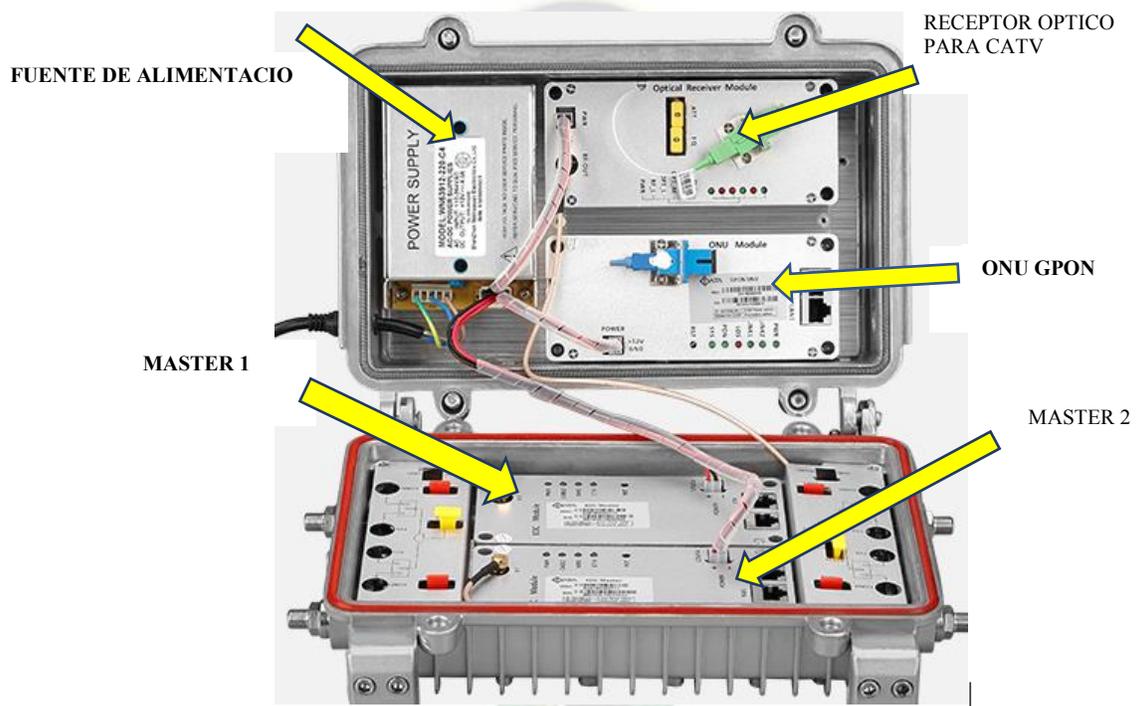
2.10.4.3 El módulo ONU.

Diseñado con un puerto GPON, un puerto Ethernet 10/100/1000 Base-TX estándar. Proporciona la funcionalidad clave de 802.3ah GPON ONU. Mediante el uso de la tecnología GPON, el módulo ONU proporciona un canal de datos de alta velocidad a través de una única fibra óptica con una tasa de 1,25 Gbps en bidireccional. Además, ofrece QOS, un ancho de banda

flexible asignado para brindar un servicio de datos de alta velocidad de calidad, servicio de voz y servicio de video

En la figura 2.48 se puede ver el interior del Nodo EoC, donde se encuentran los componentes detallados anteriormente.

Figura 2.48: Componentes Nodo Master EoC



2.10.5 Equipo de Usuario Terminal EoC (Esclavo)

El equipo Terminal de usuario del sistema EoC, es un CPE²⁰ (Customer Premises Equipment) denominado “Esclavo” el cual debe de interactuar con el equipo Maestro, quien luego de registrarlo en su base de datos interna habilitará el flujo de datos cuyo indicador lumínico es un LED en la parte frontal del equipo, de la misma forma se podrá habilitar y

²⁰ Viene a ser equipo local de cliente

gestionar características de la red inalámbrica WiFi ajustando, potencia de salida, Canal de tráfico, claves de seguridad etc.

En la tabla 2.6 se detallan las características de este equipo donde es necesario resaltar la sensibilidad de Recepción²¹ del mismo, este parámetro será utilizado al momento de realizar el “Cálculo de Enlace” también denominado “Presupuesto EoC” , ya que se debe instalar este equipo luego de una serie de componentes activos y pasivos los cuales generan atenuaciones que afectan al enlace antes mencionado.

Tabla 2.6: Características Técnicas Cable Modem EoC Slave

Fuente: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/EOC-1600207884767.html?spm=a2700.7724857.0.0.2b606e604WzC7M> [45]

Artículo	Parámetros	SL-6004W 	 SL-6004
Interfaz e indicador	Interfaz RF	1 * Salida de TV (señal de RF), conector F métrico 1 * entrada de cable (MIX), conector F métrico	
	Interfaz Ethernet	Interfaz de fuente de alimentación 4 * 10 / 100M	
	Interfaz de alimentación		
	Indicadores LED	1 indicador de alimentación 1 indicador del sistema 1 indicador de cable 1 indicador WIFI indicador LAN (cada puerto Ethernet tiene 1 indicador)	1 * indicador de alimentación 1 * indicador del sistema 1 * indicador de cable INDICADOR LAN (cada puerto Ethernet tiene 1 indicador)
Parámetros de rendimiento	Parámetros de RF	Frecuencia: 7.5 ~ 65MHz Nivel de salida: 110±5dBuV Sensibilidad de recepción: 45dBuV Pérdida de retorno: > 15dB Impedancia de salida: 75Ω	
	Transmisión	Capa PHY: 600Mbps Rendimiento en la capa MAC: 320Mbps	
	Modo de modulación	OFDM-2690-portadores 4096/1024/256/64/16/8-QAM, QPSK, BPSK, ROBO	
	Modo de trabajo	TDMA/CSMA	
	Modo de cifrado	AES-128	
Estándar	Estándar EOC	IEEE P190 (Borrador) HomePlug AV	
	Estándar Ethernet	IEEE 802.3, IEEE802.3x, IEEE802.3u IEEE802.1P, IEEE802.1Q	
Software	Gestión de redes	WEB,CLI,SNMP	
	Características del software	VLAN,QOS,Control de ancho de banda,Limitación de tormenta de difusión	
Características físicas	Fuente de alimentación y consumo	Adaptador de corriente: 12VDC1A Consumo de energía: $\lt;$	
	Dimensión	160*120*32m m	160*120*29m m

²¹ Este parámetro determina la calidad de un sistema al momento de verificar la potencia mínima de Recepción

	Peso	0,5 kg	0,5 kg
	Atributo de entorno	Temperatura de trabajo: 0 ~ 50 ° C Temperatura del stock: -40 ~ 85 ° C Humedad de trabajo: 10% ~ 90%, sin condensación Humedad del stock: 10% ~ 90%, sin condensación	

2.10.6 Funcionamiento.

Con el propósito de proporcionar un mayor ancho de banda para el acceso de datos y además dar el servicio de Televisión por cable a usuarios, se ha desarrollado un esquema de acceso compuesto de EPON / GPON y EoC.

La tecnología EoC es un sistema híbrido de distribución, que utiliza las redes de fibra óptica como plataforma troncal de transmisión de los servicios y que, al llegar al Nodo óptico de CATV embebe toda la data hacia la red coaxial. Esto garantiza la distribución de los servicios en una red de transporte de RF, que tradicionalmente son utilizadas por los cableoperadores para servicios de televisión por suscripción siendo esta es la mayor fortaleza de EoC.

El Nodo EoC consta de un equipo ONU (Optical Network Unit) y un equipo MASTER EoC, estos equipos están configurados de forma tal que la señal de datos ópticos proveniente de la OLT (GPON o EPON) sea recepcionada y convertida en señal eléctrica por la ONU, posteriormente esta señal eléctrica es insertada al Master EoC para que este transforme la misma en una señal de RF sobre un ancho de banda de 7 a 42 MHz.

Una vez concretada esta conversión (Eléctrica a RF²²) la integración de la portadora de RF (datos EoC) con las portadoras de los canales CATV es posible gracias a combinadores en la banda de retorno (Diplexores²³) que no interfiere con las portadoras de Televisión que se encuentran en un ancho de banda de 52 Mhz a 860 Mhz.

²² Esta conversión es realizada por el maestro EoC gracias a la modulación OFDM

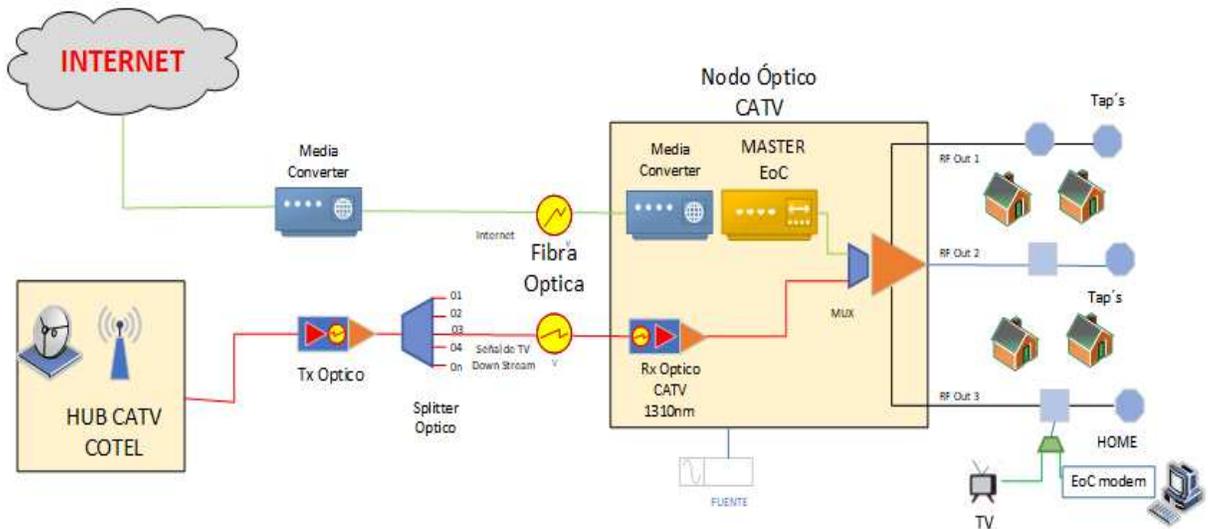
²³ Circuito electrónico diseñado para la integración y/o división de señales de RF con la ayuda de filtros sintonizados

Los usuarios finales recibirán la señal de RF (CATV+Datos) mediante la red HFC (cable coaxial) siendo el Terminal EoC (esclavo) quien separe estas señales.

Se pueden utilizar diversas formas para enlazar la cabecera de datos de internet (Nodo Internet) con el Nodo Master EoC, entre las más destacables mencionamos a los enlaces punto a punto utilizando convertor de medios y plataformas GPON (figura 2.49).

Figura 2.49: Uso de Conversor de Medios como Plataforma de transporte de Datos

Fuente: Propia en base a configuración EoC <http://wiretechsa.com.ar/wp-content/uploads/2021/10/Tecnologia-EoC.pdf> [46]



En la Figura 2.49 se muestra la utilización de un enlace punto a punto mediante un equipo conversor de medios²⁴ (CM) de Ethernet a Óptica como medio de transmisión de datos, existe en el mercado 2 tipos de CM, el primero que utiliza un hilo de Fibra para Tx y Rx porque cuenta con un WDM interno y el otro trabaja con dos hilos de fibra óptica Tx y Rx individualmente, en la figura 2.50 se puede apreciar este tipo de equipamiento, sin embargo con la finalidad de optimizar recursos se recomienda la utilización del equipo que utiliza un solo hilo de fibra óptica

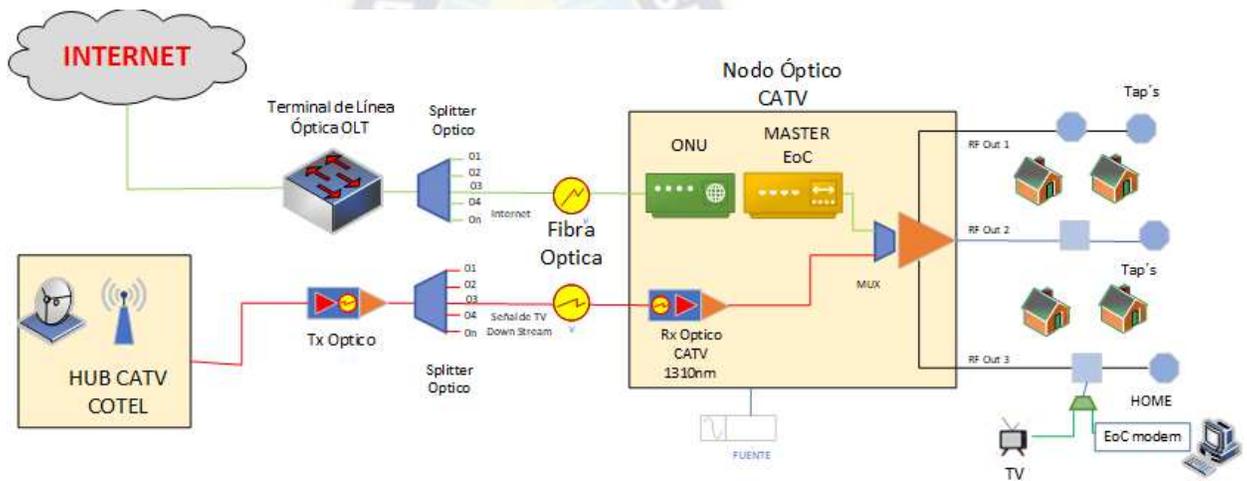
²⁴ Este equipo permite prolongar un punto de internet a un máximo de 20 km

Figura 2.50: Conversores de medios de 1 y 2 hilos de Fibra



Figura 2.51: Uso de OLT como Plataforma de transporte de Datos

Fuente: Propia en base a configuración EoC <http://wiretechsa.com.ar/wp-content/uploads/2021/10/Tecnologia-EoC.pdf> [46]



La Figura 2.51 muestra otra forma de interconectar el centro de datos con el equipo master EoC, utilizando un sistema GPON como plataforma de transporte de datos, este cuenta con una OLT²⁵ cuyo puerto PON de salida es conectado a un Splitter óptico debido a su elevada potencia, lo cual posibilita la ampliación de más Nodos EoC por un solo puerto PON.

En ambos casos la señal de RF que sale del master EoC es multiplexada con la señal de CATV con la ayuda de un diplexor cuyo filtro rechaza banda está sintonizado en las frecuencias

²⁵ Optical Line Terminal

de 42/50 MHz posteriormente esta señal combinada es insertada al amplificador del NODO CATV para luego ser distribuida mediante la Red HFC existente.

El usuario final podrá contar con el servicio de Televisión por Cable e Internet con una mayor capacidad en el volumen de tráfico.

Con la finalidad de contar con un mejor despliegue y control sobre cada uno de los terminales se considera que la mejor opción es optar por una red de transporte con base en una OLT y ONU

2.10.7 Integración de Redes EoC - FTTH

Las redes EoC, HFC y FTTH pueden integrarse y lograr conjunciones en un solo sistema esta integración hace posible que los usuarios tengan acceso a servicios de internet por fibra óptica o por coaxial.

De hecho, existen cálculos comparativos frente al ahorro que se obtienen utilizando el cableado existente. Estos ahorros dependen de factores como el costo de mano de obra local, cantidad de puntos de acceso y distancias a cubrir, entre otros.

El sistema EoC plantea la unión de dos sistemas de aprovisionamiento de servicios de telecomunicaciones como ser GPON y HFC, la primera será utilizada como plataforma de transporte de datos, y la segunda como la red de distribución hasta el usuario final. (*“EoC y una mirada hacia el futuro de FTTH” - ppt descargar, s.f. [47]*)

La conexión desde el NOC (Network Operations Center), al abonado o al Nodo Óptico es por medio de un vínculo físico de 1 o 2 Fibras Ópticas. aprovechando un sistema GPON integrado a CATV.

En la Figura 2.52 se muestra una de las bondades de la de las redes FTTH, ya que por un solo pelo de la fibra óptica, utilizando DWDM es posible transportar 3 haces de luz diferentes sobre estos se transmiten Datos (Internet, TX, RX) y Televisión por cable CATV.

Figura 2.52: Longitudes de onda por un Pelo de F.O. y sus Funciones

Fuente: EoC una Mirada hacia el Futuro FTTH <https://slideplayer.es/slide/17992187/> [47]

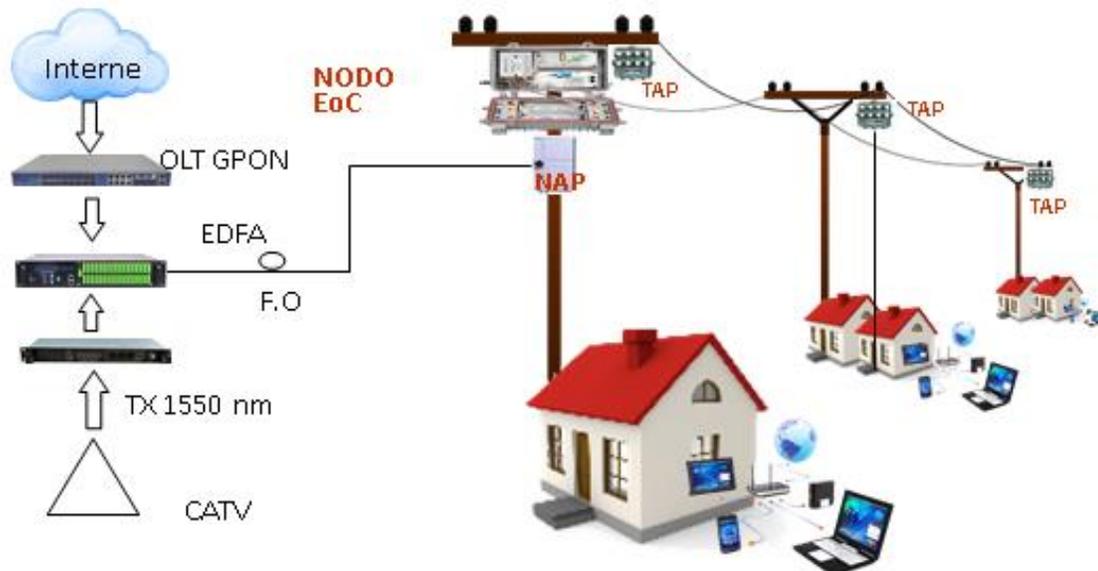


Cada haz de luz cumple una función específica.

- **CATV 1550 nm:** transmisión desde el NODO CENTRAL en el λ de 1550 nanómetros y es el emisor en broadcast. Utilizando FDM se envían señales analógicas y digitales, se entrega al cliente en RF COAXIAL, sin requerir cambiar nada en la bajada del abonado.
- **DATOS TX en 1490 nm:** transmisión desde el NODO CENTRAL en el λ de 1490 nanómetros, es el trasmisor de la señal IP hasta el abonado y considerando una tecnología GPON tendremos 2.5 Gbps en Down y 1.25 Gbps en Up.
- **DATOS RX en 1310nm:** transmisión desde la ONU u ONT en el λ de 1310 nanómetros. Se utiliza una modulación por medio del pulso de reloj de sincronización recibido; puede enviar su paquete sincronizado con la partición que puede ser de 1/32, 1/64, o 1/128 utilizando TDM. ("EoC y una mirada hacia el futuro de FTTH" - ppt descargar, s.f. [47])

Figura 2.53: Integración EoC, GPON y HFC

Fuente: propia, en base a las características de funcionamiento de sistema EoC



Gracias a la funcionalidad de la F.O. explicada anteriormente es posible trabajar con EoC y GPON a la vez, en la Figura 2.53 se detalla gráficamente el funcionamiento de ambas con las siguientes consideraciones:

- La caja NAP podrá ser instalada utilizando un solo pelo de fibra óptica y podrá contar con 16 usuarios GPON (*"EoC y una mirada hacia el futuro de FTTH" - ppt descargar, s.f.[47]*).
- Utilizaremos un puerto de los 16 Ptos. GPON (de la caja NAP) para el Nodo EoC.
- En el interior del Nodo EoC se utilizará un DWDM para dividir las Landas de 1550nm (CATV) y 1490/1310nm (Datos Tx/Rx).
- La landa de 1550 nm se insertará al Rx óptico que alimenta al amplificador del NODO CATV.

- La banda 1490/1310 nm de datos será insertada a la ONU para luego seguir el proceso EoC explicado anteriormente (*"EoC y una mirada hacia el futuro de FTTH"* - ppt descargar, s.f. [47]).

Con el proceso detallado anteriormente será posible proporcionar el servicio de internet mediante GPON a 15 usuarios con un radio de cobertura de 150 mts alrededor de la caja NAP. Asimismo, la empresa podrá habilitar a dos tipos de usuarios:

- Usuario general, mediante EoC (coaxial).
- VIP, mediante Fibra óptica.

Las políticas comerciales de la empresa en cuestión serán las que definan la diferencias y los costos entre uno y otro recomendando. De hecho, es evidente que un servicio por fibra óptica tendrá un precio más elevado al de coaxial, por lo que el servicio por EoC debería ser un poco más económico.

Utilizar un sistema EoC, prepara a las empresas para un despliegue de redes FTTH, en vista que una de las bondades del sistema EoC, es su implementación rápida y masiva, las empresas podrán utilizar los recursos generados por esta tecnología como un colchón económico para la adquisición y despliegue de redes FTTH que irán creciendo paulatinamente.

2.10.8 Puntos destacados

Dentro de lo más relevante al momento de implementar esta tecnología es:

- Reemplazando solamente los amplificadores por nodos ópticos se obtiene CATV 850 MHz. No es necesario cambiar la red coaxial, ni la bajada al abonado. No hace falta realizar un filtrado masivo de clientes.
- Altamente resistentes a ruidos y problemas de calidad de la red.

- Internet es bidireccional desde y hacia el nodo óptico entre 7 y 42 Mhz o 65Mhz.
- Se desactiva la red de Trunk y se reemplaza por nodos, arquitectura N+0, +1 y +2*.
- Cualquier Nodo Óptico puede estar a una distancia de hasta 20 kilómetros del headend mientras se pueda llegar con una Fibra Óptica.

La tecnología de transmisión EOC pasiva utiliza las características de la transmisión de señales de televisión por cable en el rango de frecuencia de 54 ~ 860 MHz, la transmisión de señales de datos de banda base en el rango de frecuencia de 75 ~ 42 MHz, utilizando, filtrado de paso alto / bajo y otras tecnologías para transformar la señal de TV. (*"EoC y una mirada hacia el futuro de FTTH"* - ppt descargar, s.f. [47])

La señal de datos se asigna al cable coaxial doméstico a través del combinador y se transmite a la casa del usuario &. En el extremo del usuario, la señal de TV se separa de la señal de datos mediante un separador y se transmite a diferentes terminales.

La tecnología de acceso EOC tiene una pequeña carga de trabajo para la transformación del sistema de red de televisión por cable existente, no es necesario agregar equipo activo adicional, es fácil de instalar y usar, tiene bajos costos de operación y mantenimiento y es una tecnología de acceso de usuario económica.

2.10.9 EoC Vs CMTS/ DOCIS

Es preciso diferenciar el sistema EoC de un CMTS/DOCSIS, ya que ambos sistemas utilizan las redes HFC como medio de transporte de última milla, con esta diferenciación podemos justificar la elección de un sistema ante el otro.

Tabla 2.7: Tecnología EoC Vs CMTS

Fuente: EoC una Mirada hacia el Futuro FTTH <https://slideplayer.es/slide/17992187/> [47]

CARACTERISTICA	EoC	CMTS/DOCSIS
Frecuencia	Opera en frecuencias bajas que se traduce en menos interferencia. Retorno pasivo	Opera en frecuencias más altas que resultan ser afectadas por más interferencia
Uso de hilos de Fibra Óptica	Un solo hilo de fibra óptica puede soportar varios Nodos	Cada Nodo requiere uno o dos Hilos de Fibra óptica
Cantidad de Nodos	Requiere más Nodos (master EoC) de Datos	Requiere menos Nodos de datos
Distancia señal sobre coaxial	Señal con menores recorridos sobre cable coaxial (800 mts.)	Transmisión de señal para distancias cortas Docsis 3.1 N+1 sobre coaxial (debe de garantizar bajos niveles de distorsión)
Costo Efectividad	Muy rentable, bajo costo de equipos	Equipos más costosos en planta externa y la red debe ser 100% bidireccional
	No suele requerir gran inversión en infraestructura, a excepción de la adición de fibra para acortar cascadas	Requiere importantes costos en infraestructura
	Antesala para redes FTTH	

2.10.10 Ventajas

La tecnología EOC tiene las siguientes ventajas:

- La instalación es simple, plug and play, implementación rápida, sin necesidad de Recablear, sin necesidad de molestar a la gente.
- En la actualidad, la mayoría de las tecnologías EOC pueden proporcionar un ancho de banda bidireccional de más de 100 Mbps, y la capacidad de interferencia anti ruido es mucho mayor que la de CM y puede funcionar en entornos de red hostiles.
- Tamaño pequeño y peso ligero, apto para instalación en hogares, pasillos y comunidades;
- Operación segura y confiable, estable, económica y práctica.
- La interfaz de TV es compatible con todos los equipos de televisión por cable convencionales, como divisores, televisores, transmisores ópticos, etc.
- La interfaz de datos es compatible con todos los dispositivos Ethernet, como conmutadores, enrutadores, decodificadores IP, PC, etc.

- Sistema integrado, puede iniciar sesión a través de http para realizar varias configuraciones de administración, como configurar IP, contraseña, etc.
- Admite modo full-duplex, half-duplex.
- Admite adaptativo 10 / 100M.
- El Slave EoC transmite a 55 dBmV, se tiene una llegada de 5 dBmV.



3.1 Consideraciones Iniciales.

En primera instancia, damos a conocer los equipos que forman parte de la infraestructura desplegada por la empresa COTEL R.L. con la finalidad de especificar la integración del sistema EoC en su red HFC.

3.1.1 Topologías de las redes HFC COTEL.

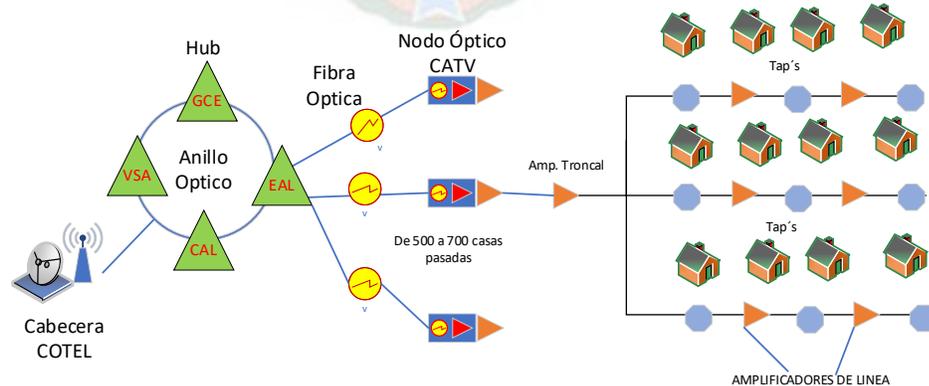
La Cooperativa de Telecomunicaciones La Paz R.L. para la distribución de su servicio de Televisión por cable CATV cuenta con sistemas Unidireccionales y Bidireccionales, los cuales son emplazados conforme a los tipos de topología, árbol Rama y Blaster.

3.1.1.1 Topología árbol Rama.

Esta arquitectura es utilizada en redes en las que se tiene una cantidad considerable de amplificadores en cascada, esto con el objetivo de tener una mayor cobertura y logra alcanzar a una gran cantidad de usuarios, las cascadas con constituidas entre 4 a 10 amplificadores, tal como lo muestra la Figura 3.1.

Figura 3.1: Topología Árbol Rama

Fuente: Propio en base a https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%ADbrido_de_fibra_coaxial [48]



Este tipo de arquitectura fue heredada por la empresa Super Canal que Cotel adquirió y está conformada mayormente de amplificadores extensores de línea BLE y debido a su gran alcance se subdividen agregando fuentes externas a amplificadores donde a este tipo de arreglo son denominados **Sub nodo**. Estas redes son utilizadas en el transporte de paquetes “A” (100 canales) y Paquete “B” (60 canales), ambas redes son **Unidireccionales**.

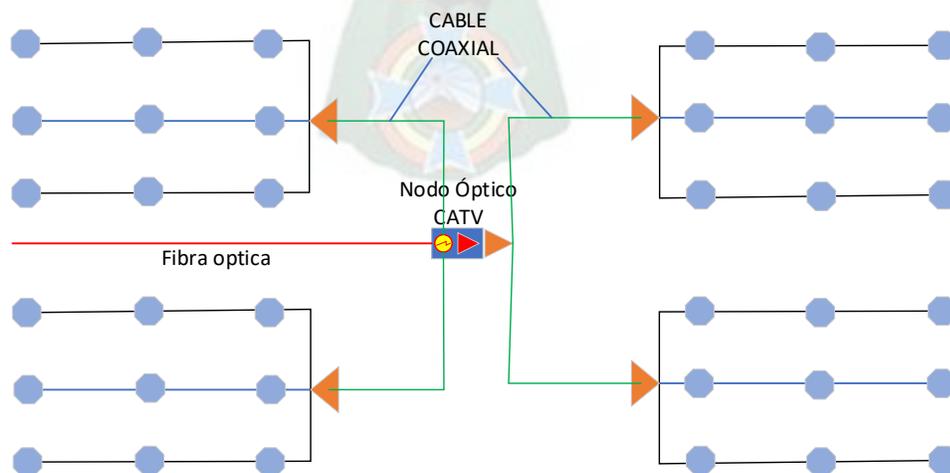
3.1.1.2 Topología Blaster.

La Topología BLASTER está conformada por niveles (Layers) de distribución cada uno de estos niveles son independientes del otro y su única función es de llevar señal al área correspondiente.

Este tipo de arquitectura permite balancear la carga del nodo asignado, un número de usuarios por nivel y por salida del nodo, lo que facilita los procesos de segmentación y rendimiento de red. Cotel cuenta con un sistema CMTS Docsis 2.0 y utiliza este tipo de topología como plataforma de acceso por red HFC capaz de transporte de datos (Internet).

Figura 3.2: Topología Blaster

Fuente: Propia en base a: Jaimeccanto. 2010. (<https://es.slideshare.net/jaimeccanto/diapositivas-sobre-redes>)[49]



En la Figura 3.2 se muestra la topología asumiendo que cada salida del Nodo Óptico alimenta a los amplificadores activos Troncales mediante líneas coaxiales expresas; esta configuración obedece al criterio N+1 (Nodo más un amplificador).

3.1.2 Nodo Óptico CATV.

El Nodo Óptico (Ver Figura 3.3), es el primer dispositivo activo (que necesita energía eléctrica) en planta externa donde las señales descendentes (de la cabecera a usuario) pasan de óptico a eléctrico, estas señales son libres de distorsión, ruido o interferencia desde largas distancias, para continuar su camino hacia el hogar del abonado a través de la red de distribución de coaxial HFC. En los sistemas bidireccionales, los nodos ópticos también se encargan de recibir las señales del canal de retorno o ascendentes (del abonado a la cabecera) para convertirlas en señales ópticas y transmitir las a la cabecera, en la Figura 3.3 se puede apreciar una fotografía de un Nodo Óptico Scientific Atlanta, que utiliza COTEL en sus redes CATV, es en estos NODOS en los que integraremos mas adelante los equipos EOC.

Figura 3.3: Nodo Óptico Scientific Atlanta

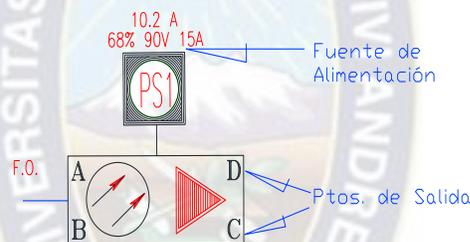
Fuente: <https://www.edge-bbs.com/wp-content/uploads/2014/05/Scientific-Atlanta-6940-Product-Data-Sheet.pdf> [50]



El canal de retorno en las redes HFC ocupa la parte baja del espectro. Este ancho de banda lo comparten todos los hogares servidos por un mismo nodo óptico. Los retornos de distintos nodos llegan a la cabecera por distintas vías o multiplexados a distintas longitudes de onda. Aquí convergen las señales de retorno de todos los abonados, las cuales se convierten en señales ópticas por medio del láser de retorno y se transmiten hacia la cabecera.

Los nodos ópticos Scientific Atlanta, Motorola, tienen cuatro salidas troncales de 34 dBmV de ganancia y con un rango de potencia óptica de -3/+2 dBm.

Figura 3.4: Simbología Nodo Óptico
Fuente : Propio en base a planos CATV COTEL R.L.

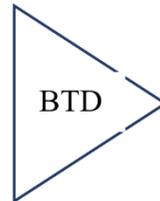


En la Figura 3.4 se puede apreciar la disposición de puertos, y la simbología que están inscritas en los planos CATV de COTEL R.L.

3.1.3 Amplificador BTB.

Estos amplificadores son utilizados para mantener la ganancia unitaria del sistema de distribución, y compensan las pérdidas de señal en la red ocasionadas por el cable coaxial y elementos pasivos (Acopladores, Splitters, Multitaps). Además de amplificar, también cumplen la labor de equalizar, es decir, entregar una pendiente adecuada para compensar las pérdidas en altas frecuencias del cable coaxial. En la Figura 3.5 se muestra la simbología de dicho amplificador.

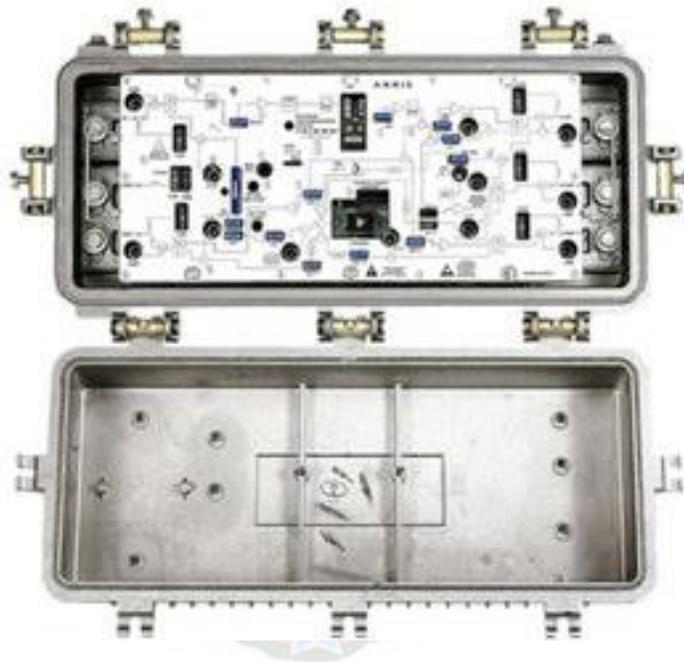
Figura 3.5: Simbología Amplificador Troncal BTM
Fuente: Propia en base a planos CATV de COTEL R.L.



Nota. Broadband Truck Distribution. Es un amplificador que entrega cuatro salidas balanceadas.

En la Figura 3.6 podemos ver una imagen del amplificador BTM que es utilizado en exteriores, como amplificador Troncal, por su gran capacidad de amplificación

Figura 3.6: Fotografía Amplificador BTM



3.1.4 Amplificador Mini Bridge.

Tiene 2 o 3 salidas Figura 3.7, Puede ser configurado para obtener dos salidas balanceadas, en este caso se utiliza un dispositivo interno llamado JUMPER. Para tres salidas, internamente se usa un SPLITTER X2 que da como resultado una salida principal (Ejemplo 46 dBm) y dos salidas secundarias balanceadas (Ejemplo 42 dBm). O se utiliza un DC-10, en cuyo

caso se obtiene una salida principal (Ejemplo 46dBm), una salida secundaria (Ejemplo 43dBm), y otra salida secundaria en (Ejemplo 36dBm).

Figura 3.7: Fotografía Amplificador Mini Bridge

Fuente: <https://domusntw.com/producto/arris-mini-bridger-1ghz/>[51]



3.1.5 Amplificador LE (Line Extender).

Presenta la configuración más simple, tiene una sola salida Figura 3.8. Son utilizados en la parte final de la red de distribución, y alimenta los Taps o derivadores que llevan la conexión al usuario. Su representación es la siguiente.

Figura 3.8: Fotografía Amplificador Line Extender

Fuente: (ARRIS STARLINE BLE100 Series, 1 Output 1GHZ Line Extender Amplifier | Product Catalog | TVC Canada, s.f.) [52]



3.1.6 Componentes Pasivos.

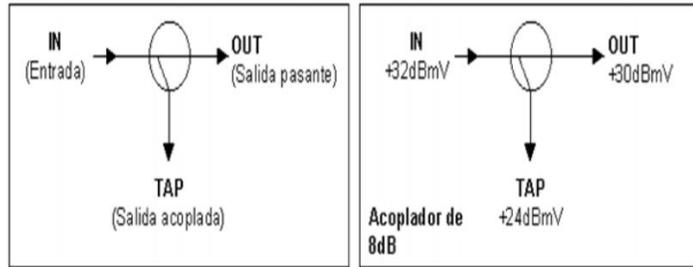
Los equipos pasivos que hacen parte de una red HFC son aquellos que no requieren de voltaje para su funcionamiento estos son:

- Splitter
- Tap's
- Ecualizador
- Atenuador/Pad

3.1.6.1 Acoplador Direccional.

Es un dispositivo pasivo que se utiliza para extraer nivel de señal de una red HFC, es implementado para derivar señal en el recorrido del cable principal o troncal y así crear puntos de distribución en la red HFC. Los parámetros de un acoplador son: Valor del Tap en dBmV, ancho de banda en MHz, pérdida por inserción, pérdida de retorno, aislamiento, Power Passing. Se diferencia del Splitter debido a que sus salidas manejan diferentes niveles de atenuación.

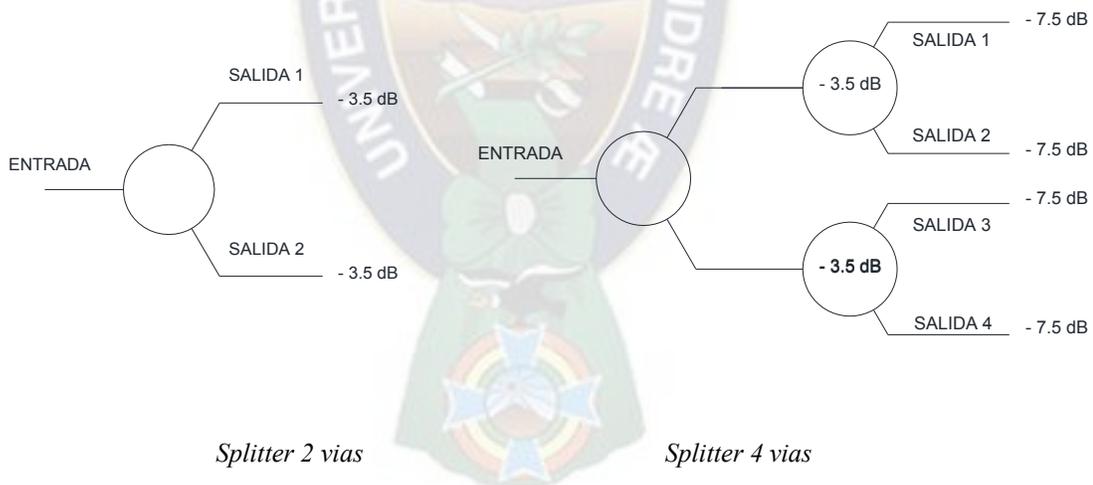
Figura 3.9: Símbolo Acoplador Direccional



3.1.6.2 Splitter ó Divisores.

Es un elemento pasivo que divide la señal RF en dos o más salidas (ver figura 3.10) y es bidireccional. En la red troncal HFC los hay de 2 y 3 salidas. Los parámetros: números de salidas, ancho de banda, pérdida de inserción, pérdida de retorno, aislamiento.

Figura 3.10: Simbología y atenuaciones de Splitter 2 y 4 Vías



3.1.6.3 Tap's.

Estos dispositivos pueden ser externos o internos, tienen la función de distribuir la señal al usuario final. Las atenuaciones de las salidas dependen del dispositivo y corresponden a las pérdidas por derivación: 23 dBm, 20 dBm, 17 dBm, 14 dBm, 10 dBm, 7 dBm, 4 dBm son

implementadas de acuerdo al diseño de la red HFC, en la figura 3.11 se muestra alguno de estos dispositivos con sus indicadores de atenuación.

Figura 3.11: Taps de Línea de Exterior



3.2 Integración EoC Redes HFC.

3.2.1 Modos de Integración Estándar.

La tecnología EoC puede implementarse en diferentes escenarios donde ya se tenga una red HFC existente. En caso de presentarse cascadas de amplificadores, estos equipos deberán contar con una etapa de retorno.

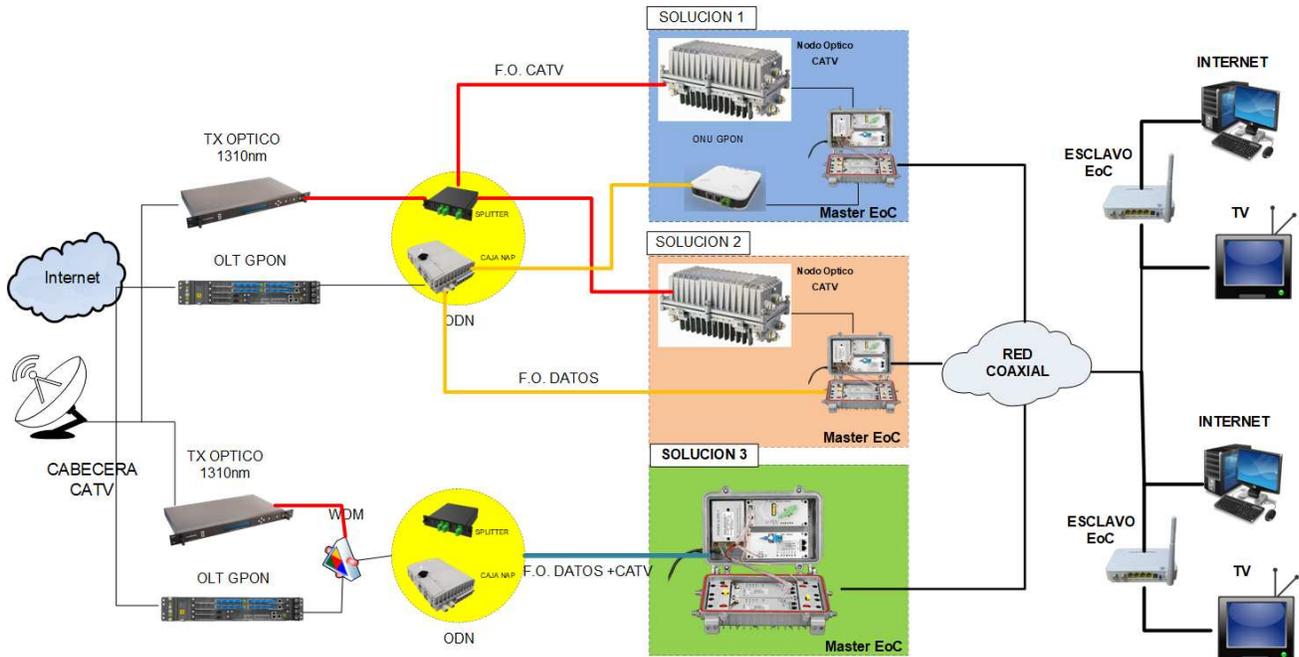
En la figura 3.12 se muestran tres potenciales soluciones de implementación de tecnología EoC.

La solución 1, es ONU independiente + EoC Maestro, en este caso se tiene una independencia en el tratamiento de señales procedentes desde la Línea Terminal Óptica OLT hasta el módulo EoC maestro, se aprecia que el módulo EoC maestro recibe la información de datos (Downstream/Upstream) a través de una interfaz eléctrica ethernet, existe una Unidad de Red Óptica ONU independiente que recibe las señales de datos desde la OLT mediante una interfaz óptica. El nodo óptico ya implementado en la red HFC se encarga de procesar la señal CATV derivada de la cabecera y entregarla al módulo EoC maestro a través de una interfaz de

RF, por último, el EoC maestro procesa ambas fuentes de información tanto datos como CATV y envía los mismos a la red de distribución de cable coaxial.

Figura 3.12: Tipos Configuraciones de Integración EoC

Fuente: Propia, en base a funcionamiento EoC



La solución 2, es EoC Maestro con módulo ONU integrado; en este caso se tiene la Unidad de Red Óptica ONU integrada al módulo EoC maestro cuyo nodo óptico HFC se encarga de procesar la señal CATV derivada de la cabecera y entregarla al módulo EoC maestro mediante una interfaz de RF. El EoC maestro procesa ambas fuentes de información para su distribución por la red coaxial existente.

La solución 3, es EoC maestro con modulo ONU y módulo receptor óptico integrado, en este caso se tiene la Unidad de Red Óptica ONU y el módulo de receptor óptico integrados al módulo EoC maestro. El módulo EoC maestro ya tiene integrado en su arquitectura tanto el

receptor óptico de CATV para 1550 nm y el módulo ONU para datos 1310 nm y 1490 nm para upstream y downstream respectivamente.

3.3 Integración EoC a redes CATV de COTEL R.L.

3.3.1 Análisis Previo.

Uno de los primeros desafíos al realizar la integración del sistema EoC a la red HFC de COTEL es la de optimizar los recursos existentes sin realizar modificaciones significativas.

Los nodos EoC cuentan con un Rx óptico en landa de 1550 nm (figura 3.12) esta característica es utilizada para utilizar un solo hilo de Fibra óptica, que transportará las señales de CATV y Datos hasta el Nodo Maestro EoC y este último distribuirá estas señales mediante la red HFC tal como se muestra la en la Solución 3

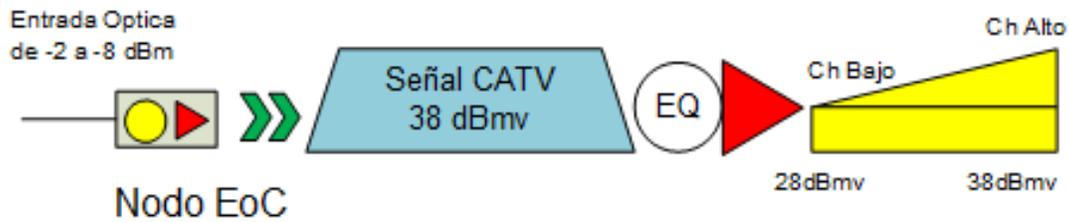
Para esta modalidad de solución corresponde realizar el cambio de los Nodos Scientific Atlanta (Cotel) por Nodos EoC, sin embargo, de acuerdo a las características técnicas de los nodos EoC detallados en Tabla 2.5 (*Características técnicas Nodo EoC Master Todo en Uno*) la potencia de salida de 108 dBu tiene una pérdida de inserción de 11 dB, por lo tanto, la potencia de salida de RF de CATV de 98 dBu equivalente a 38 dBmv,

En la Figura 3.13 se muestra el proceso que sigue la señal de RF en el nodo EoC, se puede ver que luego del proceso de ecualización que debe de seguir toda señal de CATV se obtiene un valor de 28 dBmv en los canales bajos y 38 dBmv en canales Altos²⁶

²⁶ En espectros de 52 a 750 Mhz la diferencia entre el canal alto y bajo es de 10 dB

Figura 3.13: Ganancia de Señal CATV Nodo EoC

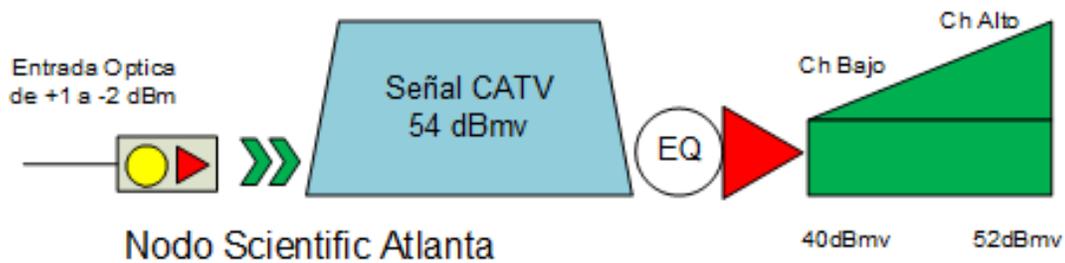
Fuente: Propia



En la figura 3.14 se puede ver la ganancia que cuenta un Nodo Scientific Atlanta que luego del proceso de adecuación de frecuencias altas y bajas (Ecuación)

Figura 3.14: Ganancia de Señal CATV Nodo Scientific Atlanta

Fuente: Propia



Las señales de radiofrecuencia son atenuadas de acuerdo al rango de frecuencia en el que estas trabajen, debido a este fenómeno físico las redes coaxiales deben de variar las amplitudes de estas frecuencias considerando que a mayor frecuencia la atenuación será mayor.

En consecuencia, los amplificadores troncales y de distribución deberán realizar un proceso de adecuación de señal denominada ecualización, de forma que se procure obtener una linealidad en todas las frecuencias en el punto de usuario final, este proceso es detallado en la Figura 3.15.

Figura 3.15: Respuesta en Frecuencia Señales CATV

Fuente: *Broadband Equipment | eDGe Broadband*

Solutions. http://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/PLACE_es/Site/area/docAccCmpnt?srv=cmpnt&cmpntname=GetDocumentsById&source=library&DocumentIdParam=f18f529c-8f4c-404c-bfa7-33212eef72d2 [53]

Dispositivos Activos

Amplificadores



Realizando un análisis de las gráficas y consideraciones anteriores, se concluye que:

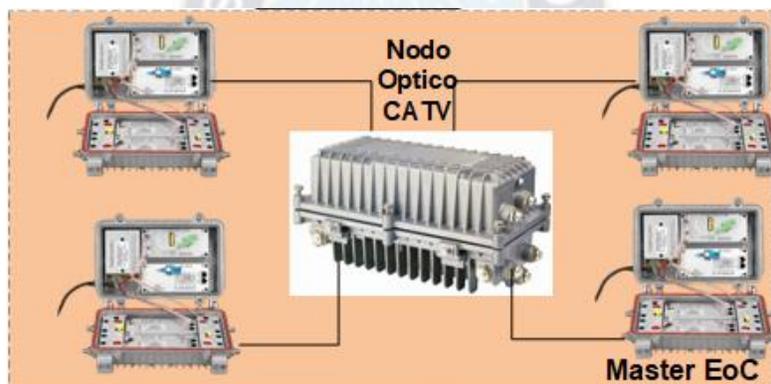
- La sensibilidad del receptor óptico del nodo EoC es mejor que la del Nodo Scientific Atlanta.
- La potencia de salida en RF para televisión por cable CATV del Rx Óptico del Nodo Scientific Atlanta es mayor en 16 dB al Nodo EoC.
- Todo el espectro de radio frecuencia debe pasar por un sistema de adecuación de frecuencias para tener a la salida de este un espectro con pendiente positiva. Asimismo, por tratarse de un ancho de banda de 750 Mhz ésta pendiente deberá de ser de 10 dB como mínimo (ver Figura 3.15).

Por los puntos expuestos anteriormente técnicamente **“NO es viable”** realizar un cambio directo de nodos Scientific Atlanta por Nodos EoC.

Al momento de considerar el análisis anterior, el recurso más coherente debería ser la implementación de la **solución 2** descrita en la Figura 3.12, que consiste en instalar un equipo Maestro EoC en los cuatro puertos de los Nodos Ópticos de Scientific Atlanta. Asimismo, cada equipo EoC tiene una capacidad de 4 puertos Datos+Catv por lo que se tendría 16 puertos de los cuales solo se serian funcionales 4, con lo que se incurriría en un exceso recursos, este aspecto es detallado en la figura 3.16.

Figura 3.16: Solución EoC para 4 Puertos CATV

Fuente: Propia



El presente proyecto, busca la adecuación del sistema EoC sobre redes HFC de COTEL R.L. con las mínimas modificaciones posibles en la topología de red, asimismo, es preciso la optimización de recursos que permitan una “**adecuación funcional**”.

3.3.2 Propuesta de Solución.

Debido a lo explicado anteriormente, se realizó un estudio para verificar la factibilidad o no de realizar el emplazamiento de equipamiento adicional en el interior del nodo Scientific

Atlanta, para lo cual se realiza una inspección de Nodo Scientific Atlanta de las redes de COTEL mostrado en la figura 3.17

Figura 3.17: Fotografía Nodo Scientific Atlanta en redes HFC de COTEL R.L

Fuente: Propio



Asimismo, se inspecciona el interior de dicho equipo para verificar el espacio funcional (figura 3.18) que podría ser utilizado para la instalación de equipo adicional.

Figura 3.18: Espacio en Nodo COTEL Scientific Atlanta



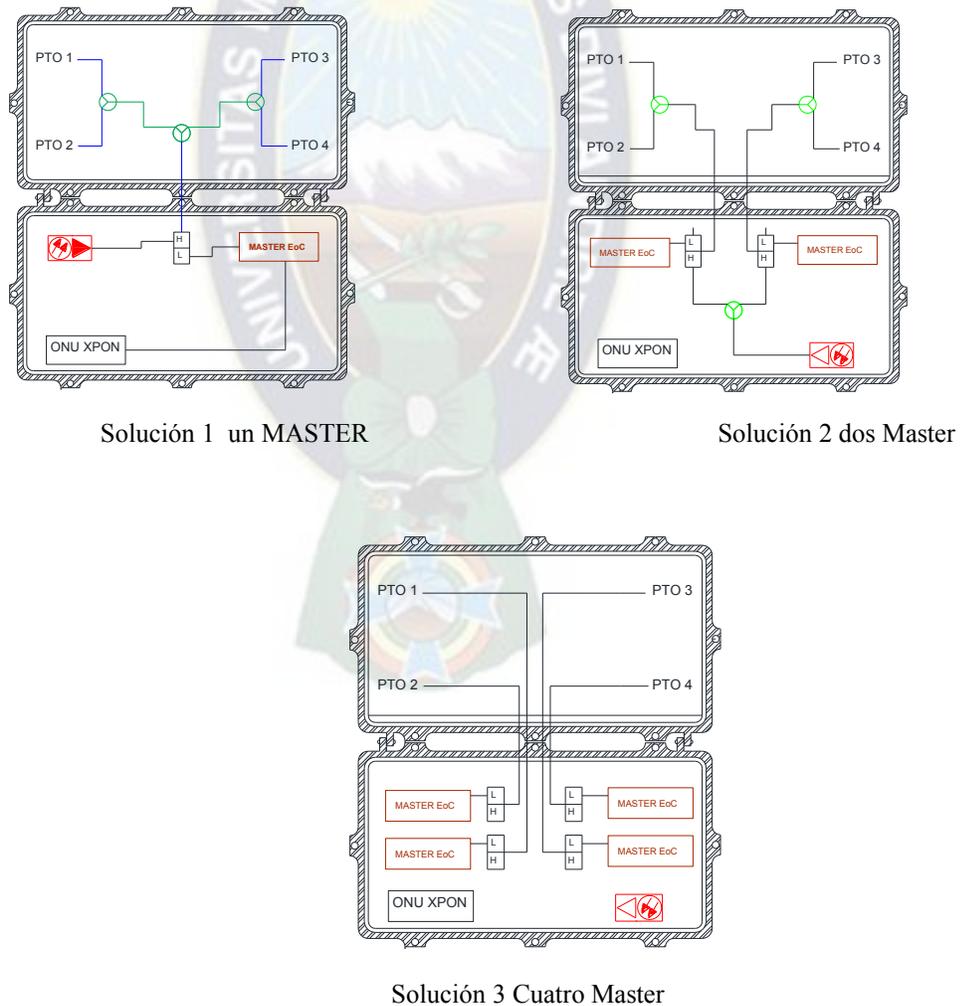
3.3.2.1 Modos de integración EoC en Nodos CATV

Se propone tres Modos de integración **EoC** detallados en la figura 3.22 estos se basan en la adición de Master EoC en el interior de Nodos CATV tomando como premisa:

- Cantidad de usuarios
- Atenuación
- Tipo de Red (Unidireccional y Bidireccional)

Figura 3.19: Modos de Integración EoC en Nodos CATV

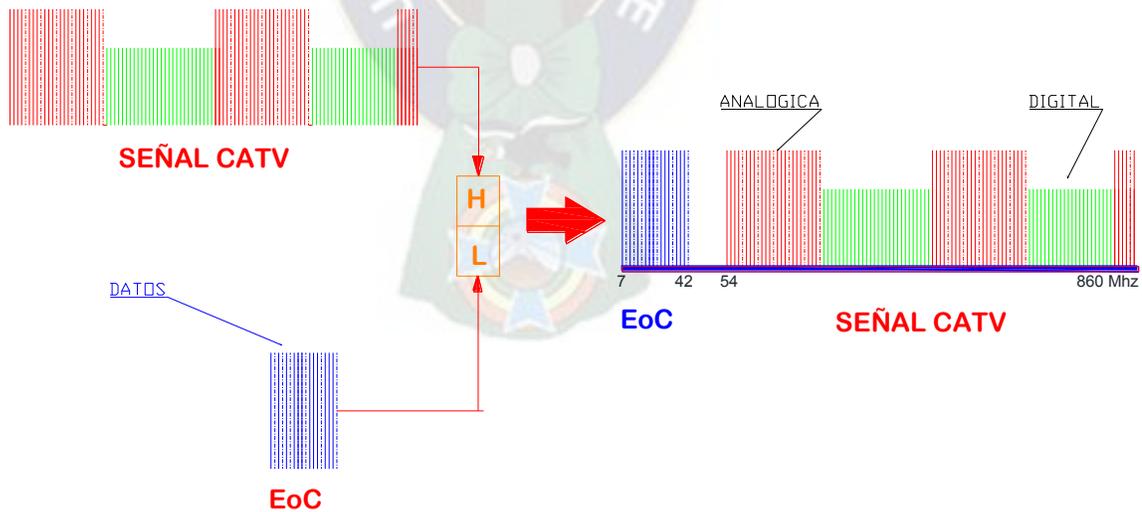
Fuente: Propia, en base a características Técnicas Nodos EoC



Es posible la instalación de hasta 4 master EoC en el interior de Nodos CATV con lo que lograría una distribución de señal EoC a los cuatro puertos individuales, asimismo se puede apreciar que mientras más equipos Master se utiliza, menos Divisores son necesarios lo que ocasiona una reducción en la atenuación final, tomando en cuenta que un splitter tiene una atenuación de 3.5 dB.

Es necesario aclarar que el resultado de la sumatoria de señales Datos EoC y CATV **No Afecta** a la señal de Televisión Analógica o Digital, ya que se encuentran en distintos espacios dentro del espectro de frecuencias, siendo que las señales EoC (moduladas en OFDM) únicamente utilizan el canal de retorno, dentro de este ancho de banda (7 Mbps a 42 Mbps) gracias a la modulación antes mencionada se transportan las señales de UpStream y Down Stream necesarias para concretar la comunicación entre el terminal de Usuario (CPE) y el Master EoC

Figura 3.20: Sumatoria de Señal de Datos EoC y CATV

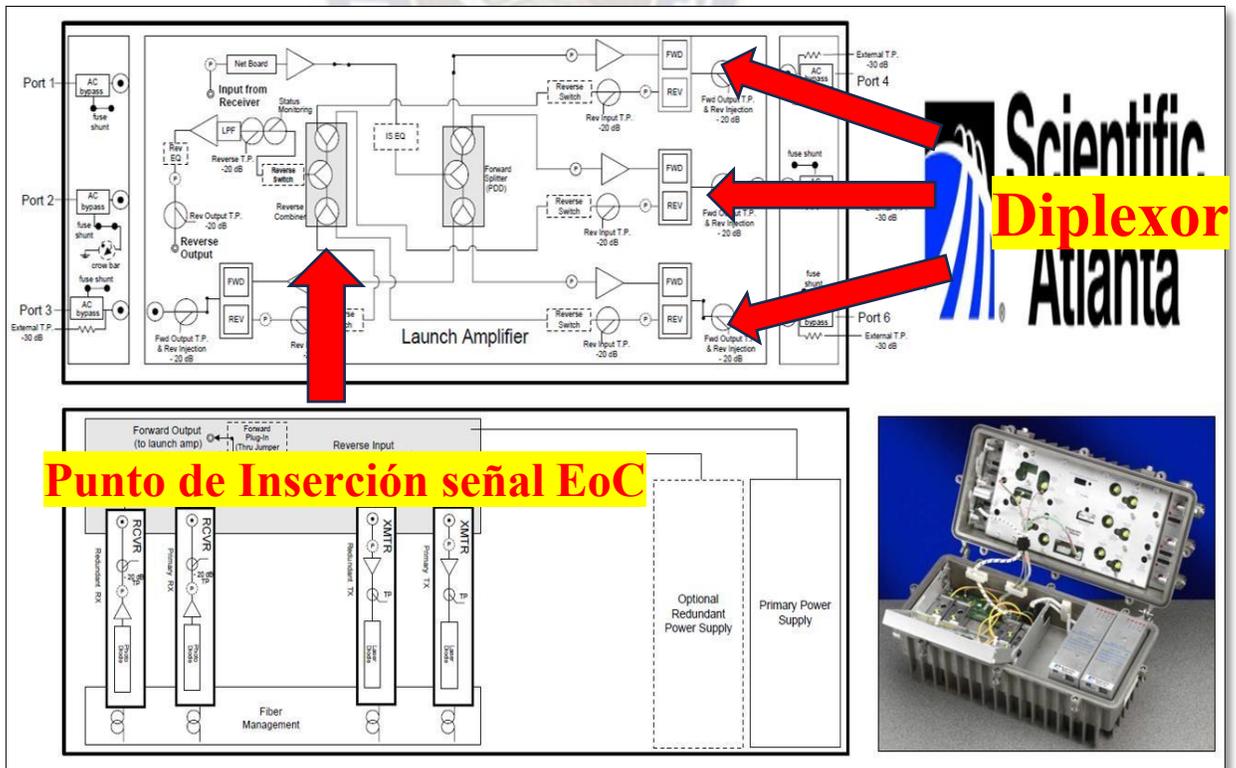


Nota. El tipo de modulación que utiliza el Master EoC para datos Ethernet es OFDM, EoC utiliza únicamente la banda de retorno sin afectar a las señales

La sumatoria de las señales EoC y CATV se las puede lograr con la ayuda de un combinador (Splitter 2 vías) sin embargo, la potencia de RF del Master EoC es tan alta (110 dBuV) que genera armónicos, que se solapan con portadoras de canales analógicos y digitales, este comportamiento hace necesario la inserción de la señal con un filtro denominado DIPLEXOR, este dispositivo se encuentra dentro la circuitería interna del nodo Maestro EoC, pero además está presente en el amplificador del nodo Scientific Atlanta.

Seguidamente, se identifica el punto de inserción de la señal RF proveniente del Máster EoC y la señal de CATV considerando los anchos de banda y el filtrado de las señales que reduzcan la generación de Armónicos que Inter modulen las portadoras de audio o video de los canales de TV, en la figura 3.19 se tiene el circuito del amplificador de RF del nodo óptico Scientific Atlanta.

Figura 3.21: Circuito Nodo Scientific Atlanta



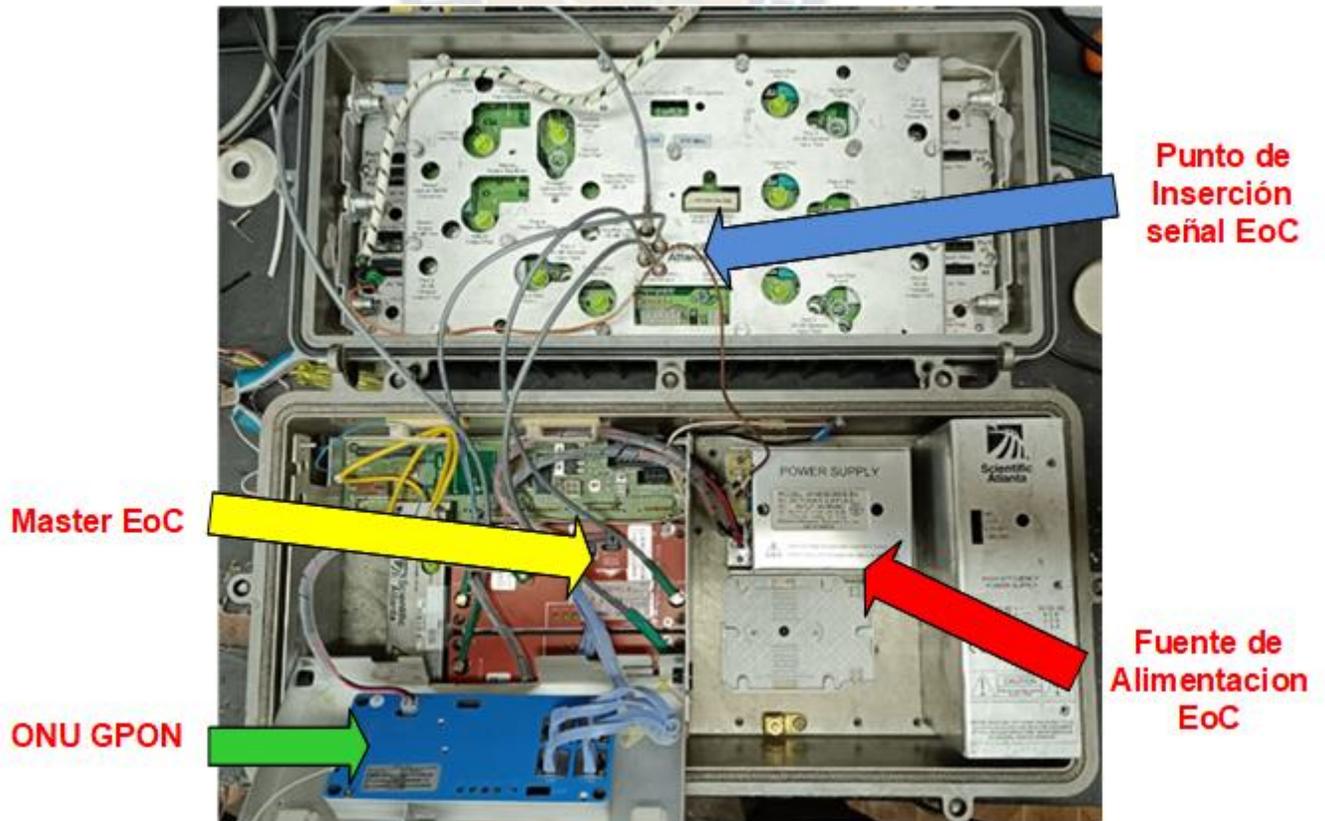
La corriente alterna 90 vac necesaria para el funcionamiento de los módulos a ser instalados en el interior del NODO COTEL será derivada del circuito insertor de potencia ubicado en el interior del mismo como parte del amplificador interno que cuenta.

En conformidad con los puntos analizados anteriormente, es evidente que existen las condiciones técnicas para la inserción de los módulos Maestros EoC, un módulo ONU, GPON y una fuente de alimentación 90 Vac / 12 Vdc en el interior de los Nodos Scientific Atlanta.

Asimismo, identificados los puntos de interconexión, se procede a la instalación de los módulos antes mencionados en el interior del Nodo COTEL tal como se muestra en la figura 3.20.

Figura 3.22: Integración EoC a Nodo Bidireccional COTEL R.L.

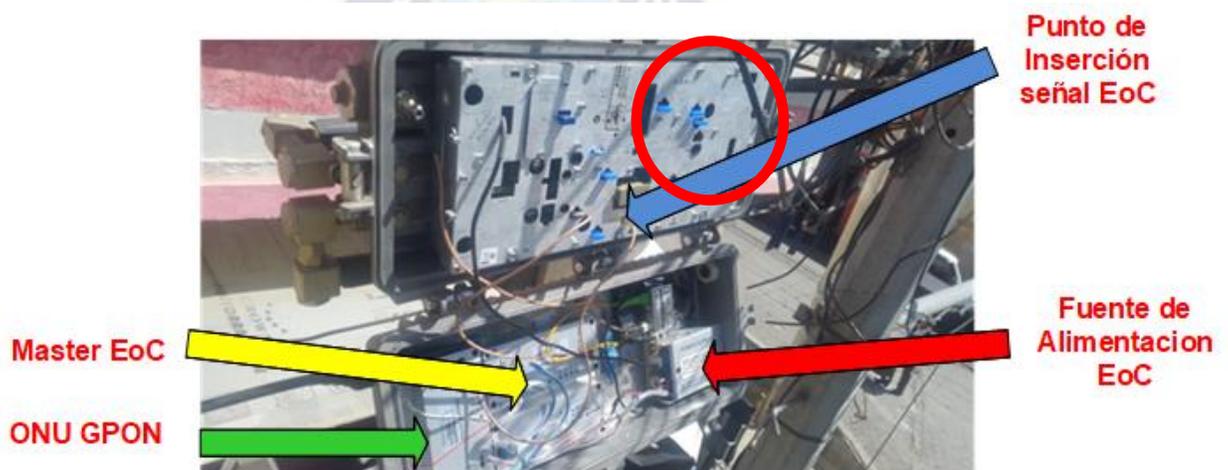
Fuente: Propia



Asimismo, en acápite anteriores se menciona que COTEL R.L. cuenta con Nodos Unidireccionales, por lo que de la misma manera se realiza la integración en este tipo de Nodo en amplificadores BTM.

En la Figura 3.21 se puede apreciar la instalación final de módulos Master del sistema EoC en nodos Unidireccionales (Amplificadores BTM Motorola), que son utilizados para dar el servicio de Televisión por Cable.

Figura 3.23: Integración EoC a Nodos Unidireccionales COTEL R.L.



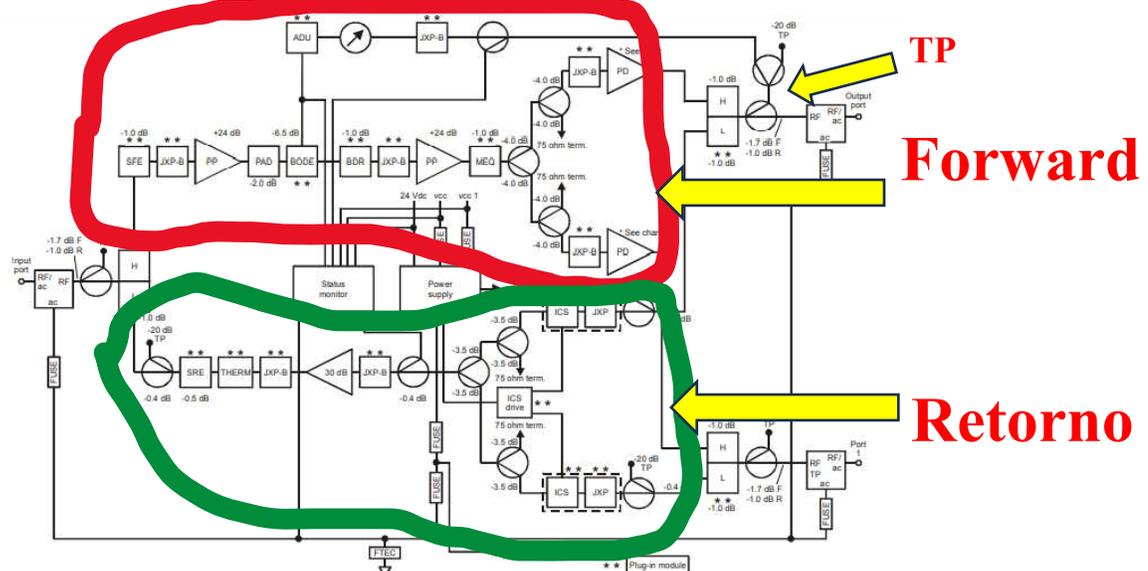
En consecuencia, el análisis anterior garantiza una “**Integración Funcional**” del sistema EoC en Nodos Unidireccionales y Bidireccionales de las redes HFC de COTEL R.L.

3.3.3 Integración EoC en Amplificadores de la red HFC

Todos los amplificadores de red HFC explicados anteriormente cuentan en su interior con una serie de combinaciones de splitter para Forward (CATV) y Retorno (Datos), además de acopladores direccionales que se utilizan para la toma de medidas en, puntos de prueba (test

ponit) estos componentes de segmentación de las señales agregaran atenuaciones acordes a lo expuesto en puntos anteriores.

Figura 3.24: Circuito Amplificador BT Motorola



Fuente: Motorola STARLINE BT*/*-2002 Broadband Telecommunications Amplifier Installation and Operation Manual

Es importante observar dos propiedades de un amplificador de distribución de RF antes de implementar la tecnología EoC, el rango de frecuencias de operación y la propiedad de tener un camino de retorno (figura 3.24), ya que los servicios de datos y video que la tecnología EoC ofrece tendrán que circular por todos los ramales que inician en el nodo óptico. Los inicios del servicio de televisión por cable y su red correspondiente tenían una infraestructura de carácter unidireccional, esto debido a que se pretendía llegar al cliente y ofrecer la grilla de canales con base a paquetes comerciales sin la necesidad de interactuar con el mismo, por lo tanto, en ciertas zonas de la red HFC encontraremos elementos como amplificadores de RF que operen en un modo de transmisión simplex esto debido a que paulatinamente se realiza la convergencia a una red bidireccional, por otro lado, también existe la posibilidad de encontrar amplificadores de RF que operen en modo bidireccional con unos ajustes extras. La red CATV de la Cooperativa de

Telecomunicaciones La Paz COTEL RL tiene elementos activos y pasivos que deben ser adecuados para una operación bidireccional.

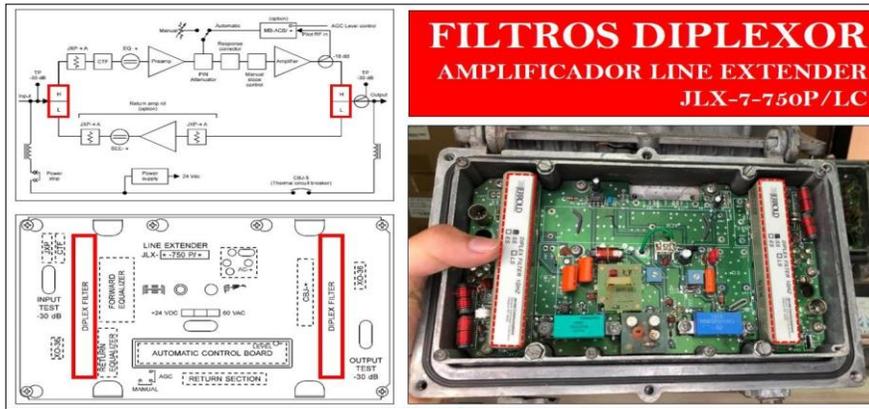
Uno de los elementos más importantes de un amplificador de RF es el diplexor o dúplex; este dispositivo tiene la responsabilidad de filtrar las señales RF de bajada (Downstream) como de subida (Upstream).

Un diplexor o dúplex es un dispositivo electrónico que permite la comunicación bidireccional (dúplex) sobre una misma línea de transmisión. Los diplexores pueden basarse en el uso de frecuencias distintas a menudo usando un filtro de guía de ondas como en la mayoría de los repetidores comerciales, con un diplexor, las señales de alta y baja frecuencia viajan en direcciones opuestas en el puerto compartido del diplexor. Los diplexores modernos a menudo usan bandas de frecuencia cercanas, por lo que la separación de frecuencia entre los dos puertos también es mucho menor. Por ejemplo, la transición entre las bandas de enlace ascendente y de enlace descendente en las bandas de frecuencia GSM puede ser de aproximadamente de un 1 por ciento (915 MHz a 925 MHz). Se necesita una atenuación (aislamiento) significativa para evitar que la salida del transmisor sobrecargue la entrada del receptor, por lo que dichos diplexores utilizarán filtros multipolares.

En la figura 3.25 se aprecia la ubicación de los filtros diplexores en un amplificador Line Extender de la marca General Instrument, los mismos se encuentran en la entrada y en la salida

sistema, al ingreso se utiliza para dividir las señales de frecuencias Altas y bajas y en la salida son utilizadas para la sumatoria de estas señales.

Figura 3.25: Filtros Diplexores en amplificadores CATV

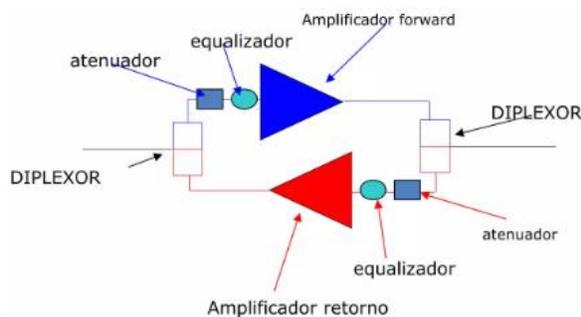


Asimismo, se debe de modificar la circuitería interna de los amplificadores ya que los mismos cuentan con amplificadores híbridos con los cuales se amplifican las señales de forward y retorno, este último es utilizado para el transporte de datos.

Esta modificación no se encuentra en la literatura de esta tecnología EoC ya que se apunta a utilizar la topología N+0 en cada una de las Ramas, pero como ya lo explicamos anteriormente la COTEL R.L. cuenta con redes Bidireccionales N+2 y Unidireccionales N+7 por lo que es preciso adecuar la solución EoC a la realidad tecnológica de esta Cooperativa

Figura 3.26: Diagrama en Bloques Amplificadores CATV

Fuente: <https://es.slideshare.net/jaimeccanto/diapositivas-sobre-redes> [54]

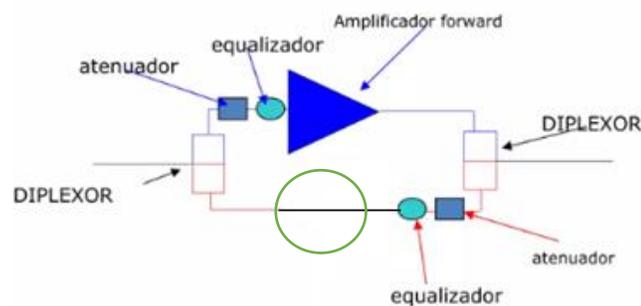


Tomando en cuenta que el sistema EoC es un avance de las redes Home plug basándonos en el estándar IEEE1901 (explicados en puntos anteriores), debemos entender que este sistema utiliza la red HFC como plataforma de transporte pasivo, en otras palabras, el sistema EoC no requiere de Amplificadores regeneradores para la difusión sus portadoras

Por lo cual, al momento de realizar una integración de sistema en dispositivos activos como los amplificadores (Troncales o de línea) es necesario realizar el Bypass en la etapa de retorno, tal como se muestra en la figura 3.27.

Figura 3.27: Modificación Amplificadores CATV para habilitar EoC

Fuente: Propia en base a <https://es.slideshare.net/jaimeccanto/diapositivas-sobre-redes> [545]



Una vez realizado el By pass en el circuito amplificador por los componentes internos ocasionan atenuaciones intrínsecas verificando que un amplificador BTM atenúa 11 dB, MB atenúa 6.5dB, BLE atenúa 3.5 dB

Es importante resaltar que las redes HFC que cuenta COTEL poseen amplificadores de diferentes marcas y modelos como ser:

- Motorola. bidireccionales hasta 860 Mhz.
- Arris. Bidireccionales hasta 860 Mhz
- Jerrold. Unidireccionales de 450 Mhz y 750 Mhz.

- CCOR Unidireccionales de 450 Mhz y 750 Mhz
- General Instrument. Unidireccionales 450 Mhz
- CHINOS (sin marca) hasta 1Ghz.

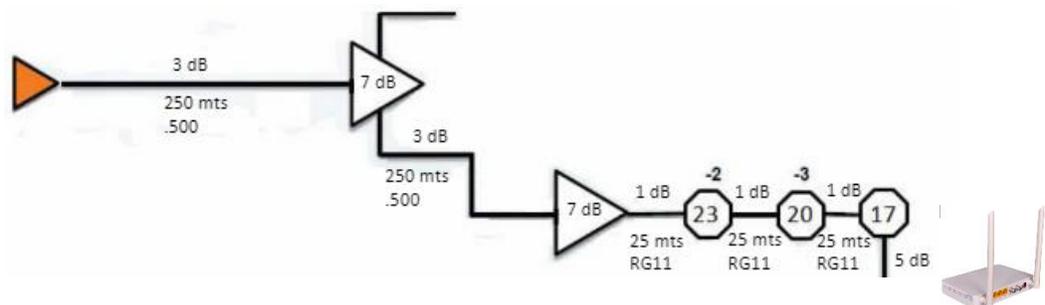
Se logró evidenciar que todos los amplificadores detallados anteriormente cuentan con filtros Diplexores capaces de manejar frecuencias de retorno (Datos) aún a pesar de que algunos de estos equipos tienen una antigüedad de más de 25 años, es posible utilizar estos y habilitar el aprovisionamiento de servicios de internet de banda ancha.

3.3.4 Integración EoC en Red Coaxial.

En la Tabla 5 se puede ver que la sensibilidad del equipo CPE (esclavo EoC) es de 45 dBuV, y la potencia del Master EoC de acuerdo a tabla 4 es de 110 dBuV por lo tanto se comprende que el sistema soporta una atenuación máxima de 65 dB, sin embargo, tomando en cuenta un margen de reserva de 8 dB considerando posibles degradaciones de la red, se recomienda que la pérdida entre el Máster EoC y el Equipo cliente, EoC Slave, no debe superar los 55 dB. De superar este valor, será necesario acortar la cascada. Pérdida a 30 MHz, desde el esclavo EoC al nodo, en la Figura 3.28 se muestra el presupuesto EoC con una cascada de amplificadores y planta externa.

Figura 3.28: Presupuesto EoC

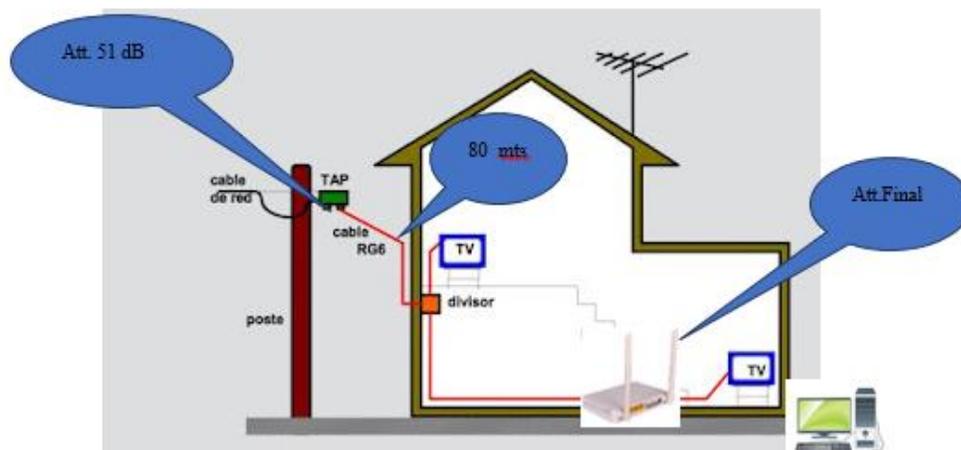
Fuente: (<https://es.slideshare.net/JuanEmilioSenor/eoc-y-ftth>)



De acuerdo con las tablas anteriores, se puede evidenciar que la topología BLASTER de las redes HFC de COTEL son óptimas para la implementación del sistema EoC porque las atenuaciones en los tap's inicial y final cumplen con a las recomendaciones del sistema EoC.

Para la instalación de usuarios se debe de considerar el tendido de 80 mts de cable coaxial RG6 que, de acuerdo a las tablas de atenuación de **Anexo 1**, por cada 100 mts a 30 Mhz atenúa 3.5 dB, por lo tanto, para 80 mts atenúa 3 dB.

Figura 3.30: Atenuaciones en instalación de Usuarios EoC

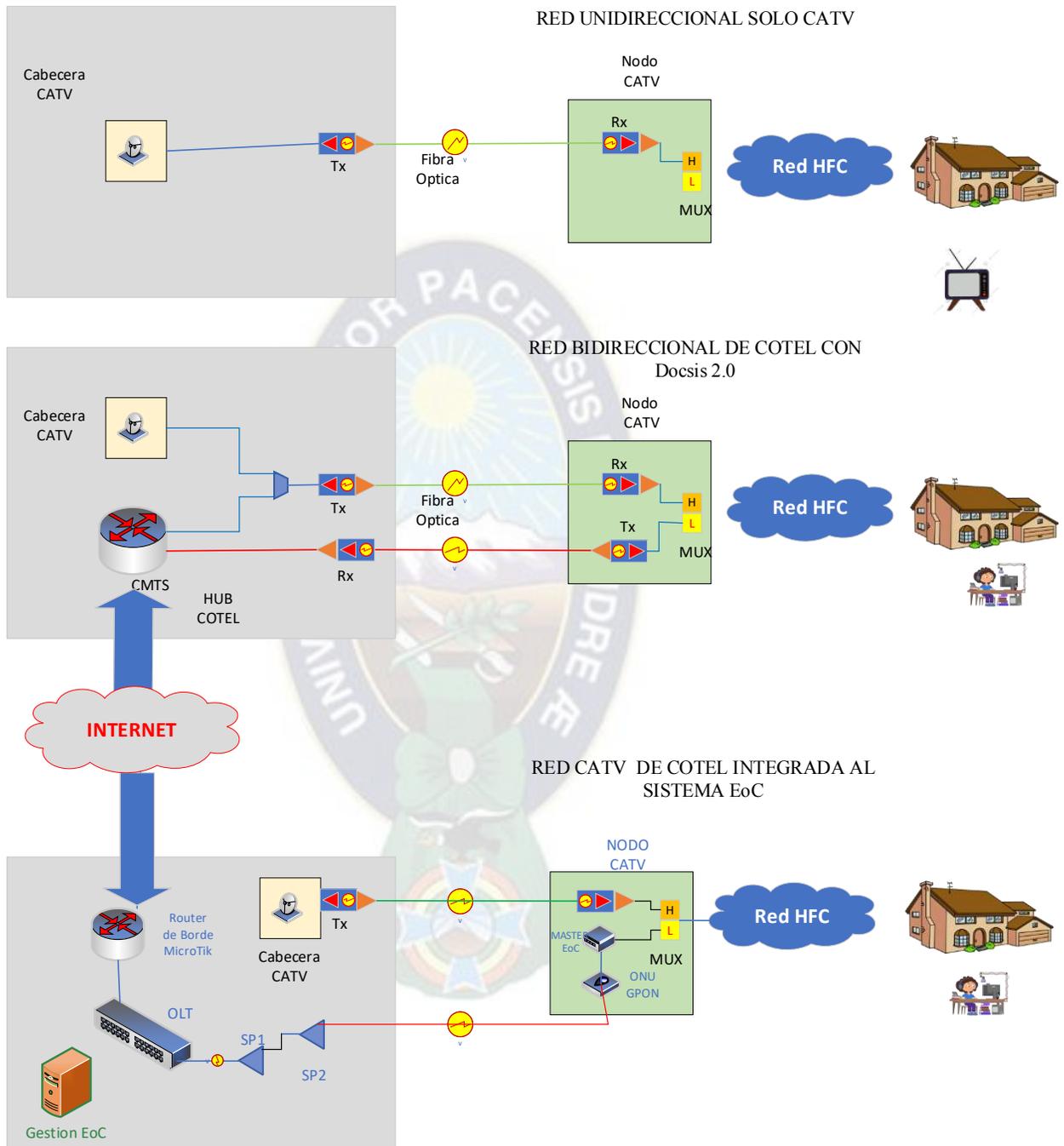


Para realizar el cálculo final de atenuaciones en la red HFC, se considera la atenuación del primer tap que deriva del amplificador, asimismo se tomará en cuenta el máximo tendido de cable coaxial RG 6 por lo tanto:

Atenuación de la RED		Atenuación cable RG6		total
51	+	3	=	54 dB

Sin embargo, se debe considerar que en casos de encontrar cascadas demasiado prolongadas, es necesario considerar la optimización de la red realizando cambio de valores en acopladores direccionales, divisores de 3 o tres vías y, en caso de edificios se debe de analizar el retiro de amplificadores.

Figura 3.31: Resultado de la integración de Redes HFC de COTEL al sistema EoC
 Fuente: Propia en base a proyecto de integración EoC



En la Figura 3.31 se muestra las redes Unidireccionales y Bidireccionales integrados al sistema EoC.

4.1 Cobertura de redes HFC Cotel R.L.

COTEL R.L. cuenta con redes HFC en las ciudades de La Paz, El Alto, Viacha y zonas del municipio de Mecapaca, ofreciendo el servicio de televisión por cable CATV en paquetes denominados “A” y “B”. Esta división se debe a la capacidad de canales de TV analógico y digital que puede transportar dicha red. Donde el ancho de banda de los amplificadores y componentes pasivos como tap’s y acopladores direccionales restringen la cantidad de canales con anchos de banda de 6 MHz que pueden transportar.

Asimismo, COTEL R.L. cuenta con más de 200 nodos entre Unidireccionales y Bidireccionales, asumiendo una capacidad media de 550 casas pasadas por nodo, se tendría un promedio de 100 mil casas pasadas.

En la gestión 2017 llegó a un 70% de ocupación de la red, sin embargo, por varios factores externos e internos actualmente se cuenta con un 23% de ocupación de red.

Además, se cuenta con un promedio de 6000 usuarios activos de Internet, mediante las tecnologías xDSL (sobre Líneas Telefónicas) y GPON (Fibra Óptica), donde el 85% se lo realiza por xDSL que puede ofrecer velocidades de hasta 10 Mbps.

En la Figura 4.1 se puede apreciar la cobertura de redes HFC que cuenta dicha empresa, lo que hace ver un gran potencial en infraestructura que implica un despliegue masivo en la difusión de servicios de internet, asimismo es una alternativa para el aumento de ancho de banda de usuarios de xDSL y la generación de nuevos contratos.

4.2 Delimitación de Zonas Proyectadas.

4.2.1 Zona Pacajes Caluyo.

La zona Pacajes Caluyo está situada en la ciudad de El Alto, limitada al norte con la avenida Ballivián y la Avenida Montenegro, al sur con la Avenida Costanera, al este con la Calle 21 de Calacoto y al oeste con la Avenida Montenegro, Cotel R.L. tiene instalada una red HFC *unidireccional* la cual tiene el denominado de NODO 282, mediante esta red se brinda el servicio de CATV paquete “B” porque el ancho de banda de sus amplificadores es de 450 MHz cuya mancha de cobertura se puede apreciar en la figura 4.1.

Figura 4.1: Proyección de Cobertura EoC Zona Pacajes Caluyo

Fuente: Imagen de Google Earth remarcando Cobertura CATV Nodo 282 COTEL R.L.



Asimismo, es bueno aclarar que, al ser una red unidireccional, la topología de esta red es Árbol Rama, y no está diseñada para transferencia de Datos, por lo que el canal de retorno no se encuentra habilitado.

4.2.2 Zona 16 de Julio (El Alto).

La zona 16 de Julio de la ciudad de El Alto, en conformidad con la Figura 4.2, está limitada al oeste por la Avenida Alfonso Ugarte, al este por la Avenida Panorámica y al Sur por la Avenida Juan Pablo II.

La mancha de cobertura está basada en la mancha de cobertura denominada Nodo 4 EAL que COTEL R.L. tiene instalado para brindar el servicio de Televisión por Cable paquete “A”.

Figura 4.2: Proyección de Cobertura EoC en Zona 16 de Julio

Fuente: Google Earth



La red HFC planteada es **Bidireccional** y tiene habilitado el canal de retorno, por lo cual COTEL R.L. ofrece el servicio de internet utilizando un CMTS utilizando la norma Docsis 2.0, sin embargo, solamente puede ofrecer un máximo de 5 Mbps por esta plataforma y la actualización a una norma Docsis 3.0 o 3.1 implicaría la sectorización de la red (Reducción de cobertura en nodos pequeños), reducción de canales Digitales o Analógicos de la grilla de COTEL TV.

4.3 Información Poblacional La Paz.

Conforme al Instituto Nacional de Estadística [INE],2022 la tasa anual de crecimiento intercensal entre los años 2012-2022 en la Ciudad de La Paz corresponde a 1.08%

Población Proyectada al 2025 (habitantes)	3.135.635
---	-----------

Con los datos anteriores es evidente que la población va en crecimiento, y es ineludible implementar plataformas de información que satisfagan la demanda creciente.

4.3.1 Densidad Poblacional de Ciudades más Relevantes Dpto. de La Paz.

Es necesario identificar la densidad poblacional de la región con la finalidad enfocar los esfuerzos de ampliación de servicios en una determinada área.

El Instituto nacional de Estadística realiza un estudio el cual refleja la densidad poblacional en los municipios urbanos más relevantes del departamento de La Paz.

Tabla 4.1: Densidad poblacional de Municipios del Departamento de La Paz

Fuente: Instituto de Estadística (INE), Censo Nacional de Población y Vivienda 2012

MUNICIPIO	SUPERFICIE (kms ²)	POBLACION (En número de personas)	DENSIDAD (En persona/Km ²)
La Paz	3040	779728	395
Palca	737	16959	23
Mecapaca	511	16324	31
Achocalla	182	22594	117
El Alto	345	860062	2484
Viacha	849	81668	97
Pucarani	930	29040	31
Laja	691	24975	36
TOTAL	7285	1831350	251

En la Tabla 4.1 se detalla la superficie que abarca cada municipio seguida de la población que ocupa dicha superficie, posteriormente se realiza una relación entre la cantidad de personas y la superficie con lo que tendremos la densidad poblacional expresado en cantidad de persona / Km2.

4.4 Análisis de Mercado Internet Fijo.

Con la finalidad de obtener un parámetro con el cual justificar la demanda del servicio en internet, se realizará un análisis de mercado con base en datos estadísticos de la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones ATT y otras fuentes.

Conforme al Boletín Estadístico de Telecomunicaciones “Las conexiones de internet fijo tuvieron entre la gestión 2013 y junio 2022 una tasa de crecimiento promedio del 26%, los mayores crecimientos se registraron en las gestiones 2017 y 2018 con tasas del 49% y el 40% respectivamente, la tasa de crecimiento entre diciembre 2021 y junio 2022 fue del 9%”, los datos anteriores pueden ser analizados mejor en la gráfica siguiente.

Figura 4.3 Evolución de Conexiones a Internet Fijo

Fuente : Semestre, P. (s/f). *Boletín Estadístico en Telecomunicaciones*. Gob.bo. Recuperado el 27 de noviembre de 2023 [55]

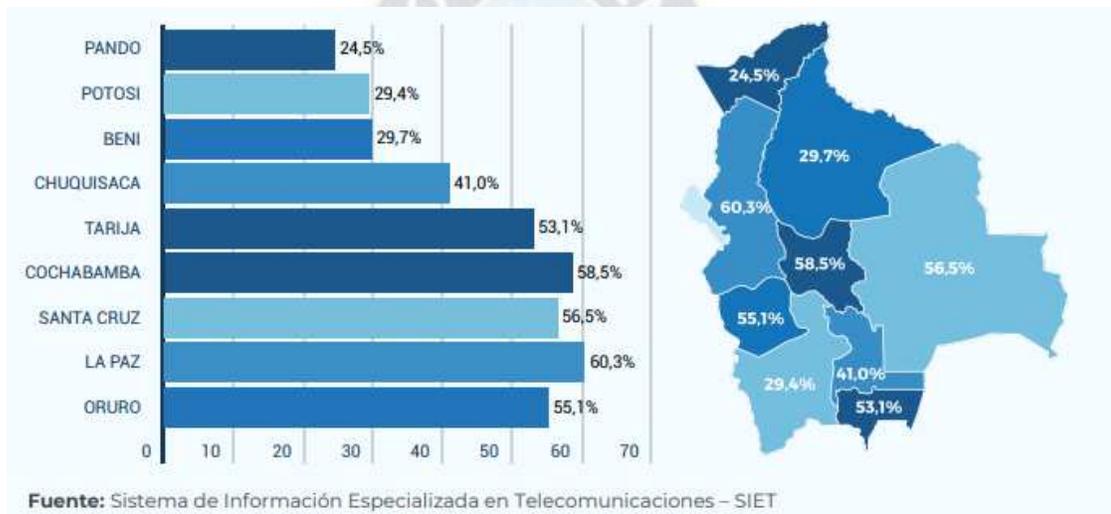


Un dato importante que denota el Boletín de la ATT es la penetración del servicio de internet Fijo a los hogares de Bolivia en dicho boletín indica: “La penetración del acceso a

internet fijo en Bolivia, alcanza a junio 2022 al 56%, lo que equivale a decir que por cada 100 familias (con cinco integrantes) 56 tienen conexión a internet fijo. El porcentaje promedio de crecimiento de la penetración el 2013 era de un 8% hasta junio del 2023 56% con un promedio de crecimiento del 24%.

Figura 4.4: Penetración -Conexiones Internet Fijo por Familia y por Departamento

Fuente: Semestre, P. (s/f). *Boletín Estadístico en Telecomunicaciones*. Gob.bo. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, [55]



El departamento con mayor penetración en el mercado de internet fijo es La Paz, con un 60,3% seguido del departamento de Cochabamba con un 58,5% y Santa Cruz con un 56,5% siendo que este departamento tiene el mayor número de conexiones de internet fijo.

Se cuenta con un crecimiento de la demanda del servicio de internet Fijo de 26% este contexto evidencia un mercado creciente.

4.5 Velocidades necesarias para Video y conferencias.

Para este cometido se visita la página web de un proveedor de streaming, y vemos que el mismo recomienda velocidades de descarga de datos para poder ver su contenido (video) reflejadas en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Relación de Velocidad Recomendada por Formato de Video

Fuente : <https://help.netflix.com/es/node/306>

Formato	Resolución	Velocidad
SD	360p	0,7Mbps
SD	480p	1,1Mbps
SD	720 p	3Mbps
HD	1080p	5Mbps
UHD	4K	15Mbps

Asimismo, se analiza cuáles deberían de ser las velocidades mínimas para realizar conferencias telefónicas, para lo cual también se debe de considerar las velocidades en descarga y subida de datos, para tener un retardo mínimo al momento de sostener una conversación vía web, en la Tabla 4.3 se detalla este aspecto.

Tabla 4.3: Velocidad de datos para conferencias Telefónicas

Fuente: <https://www.sony.es/electronics/support/articles/00082726>

Tipo de llamada	Velocidad de carga y descarga	Velocidad de carga y descarga
	mínima	recomendada
Llamada	30kbps / 30kbps	100kbps / 100kbps
Videollamada / Pantalla compartida	128kbps / 128kbps	300kbps / 300kbps
Video llamada (Alta Calidad)	400kbps / 400kbps	500kbps / 500kbps
Videollamada (HD)	1,2Mbps / 1,2Mbps	1,5Mbps / 1,5Mbps

De las Tablas 4.2 y 4.3 se puede concluir que:

- La Velocidad máxima para una resolución de video de 4K es del 15Mbps.
- La Velocidad máxima de Bajada y subida para una video Conferencia de alta resolución es de 1.5 Mbps en ambas direcciones.

4.6 Estudio de Mercado.

Con la finalidad de conocer a un segmento determinado de la población para el cual realizaremos el proyecto, es necesario realizar un Estudio de Mercado que nos ayude a:

- Identificar las necesidades
- Saber cuáles son los precios más competitivos.
- Conocer la rentabilidad de determinado sector de mercado.
- Desarrollar estrategias para tomar mejores decisiones comerciales.
- Saber cuáles son las debilidades y fortalezas de la compañía.

Para este punto nos serviremos de una herramienta de internet denominada Google Forms, enviamos este formulario a la junta de vecinos de la Zona en cuestión en la que se realizaran las siguientes preguntas:

Figura 4.5: Encuesta “Internet en tu hogar”

Fuente: Encuesta “Internet en Tu hogar”. (s/f) Google Docs. Recuperado el 11 de julio de 2023, de <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSckyLnYS9I7INH4yCzN4hBzmPnoVe8y7ptrP3zA5rsqLXbjQ/viewform>



The image shows a screenshot of a Google Form titled "ENCUESTA 'INTERNET EN TU HOGAR'". The form is displayed on a mobile device, with hands visible at the top. The title is in bold black text. Below the title, there is a subtitle: "Ayúdanos a mejorar tu experiencia con el 'Internet'". The form is associated with the email address "alanocavito@gmail.com" and includes a "Cambiar de cuenta" link. At the bottom, there is a red asterisk indicating that questions are mandatory: "* Indica que la pregunta es obligatoria".

Figura 4.6 Preguntas encuesta de estudio de mercado

Fuente: Encuesta "Internet en Tu hogar". (s/f) Google Docs. Recuperado el 11 de julio de 2023, de <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSckyLnYS9I7INH4yCzN4hBzmPnoVe8y7ptrP3zA5rsqLXbjQ/viewform>

Que tipo de conexión a internet tiene en su hogar? (puede elegir mas de una opción) *



Adsl o Vdsl



Fibra Óptica



Coaxial



Mediante TELEFONO MOVIL *
Celular"

De un escala de 1 a 10, cuanto le daría a su servicio de internet?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pesimo Excelente

Cual es su empresa proveedora de internet? (puede seleccionar mas de una) *

Entel

Tigo

Axes

Cotel

Viva

Otros

Cual (es) es el factor(es) por el que se decidió suscribirse a su empresa proveedora de internet ? (puede seleccionar mas de una opción) *

El precio

Atención al cliente

La calidad de Servicio

Por la oferta de Otros beneficios

Otro: _____

Que velocidad de Internet piensa que es suficiente para su hogar? *

de 5 a 10 Megas

de 10 a 20Megas

20 a 40 Megas

40 a 60 Megas

60 a 100 Megas

mas de 100 Megas

Cuanto estaria dispuest@ a pagar por la velocidad que escogiste en el punto anterior?? *

menos de 50 Bs

50 a 100 Bs

100 a 150 Bs

150 a 200 Bs

200 a 300 Bs

300 a 500 bs

mas de 500 Bs

Describe que servicio (**adicional al internet**) le gustaría tener

Tu respuesta _____

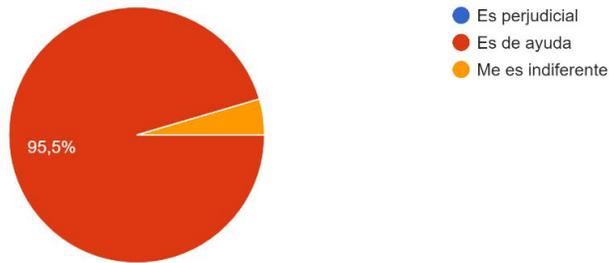
Es necesario mencionar que el hermetismo de la comuna Alteña, dificulta la consulta realizada, sin embargo, se logra rescatar criterios que sin lugar a dudas son de gran ayuda para la

implementación de este proyecto, en los cuadros de la figura 4.5 se podrán apreciar las tendencias sugeridas en esta encuesta dichos resultados.

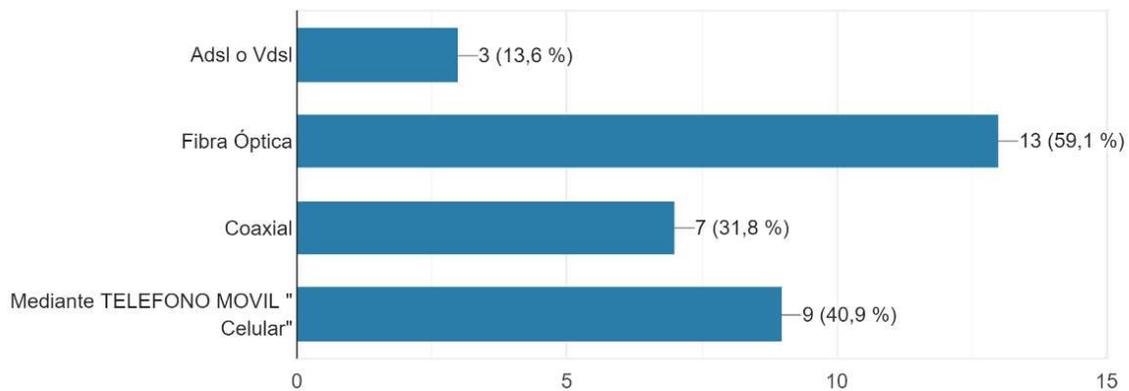
Figura 4.7 Resultados a encuesta

Fuente: Encuesta "Internet en Tu hogar". (s/f). Google Docs. Recuperado el 11 de julio de 2023, de <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSckyLnYS9I7INH4yCzN4hBzmPnoVe8y7ptrP3zA5rsqLXbjQ/viewform>

De acuerdo a su criterio, El Internet.....
22 respuestas

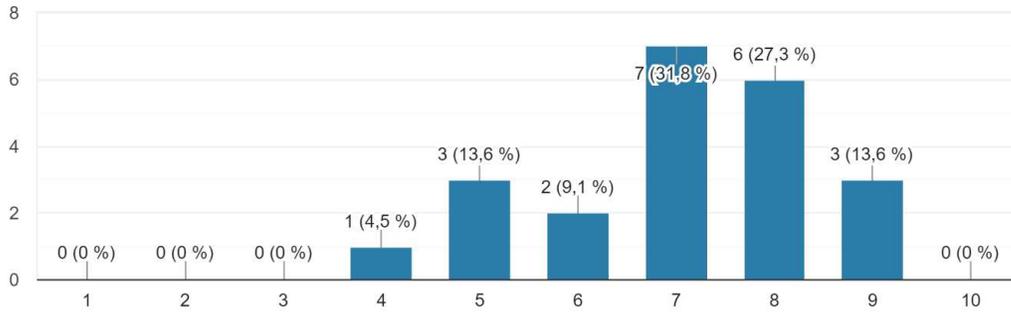


Que tipo de conexión a internet tiene en su hogar? (puede elegir mas de una opción)
22 respuestas



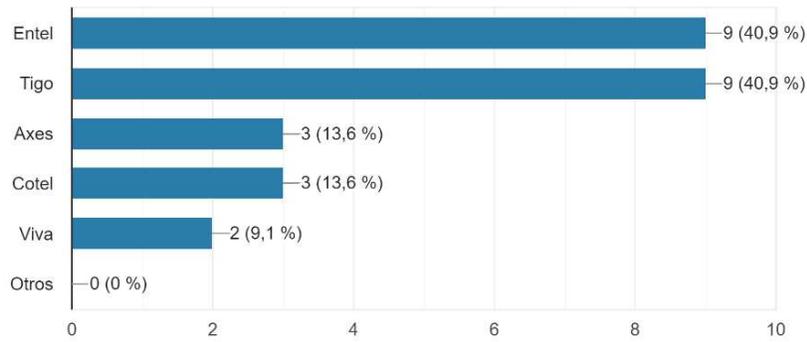
De un escala de 1 a 10, cuanto le daría a su servicio de internet?

22 respuestas



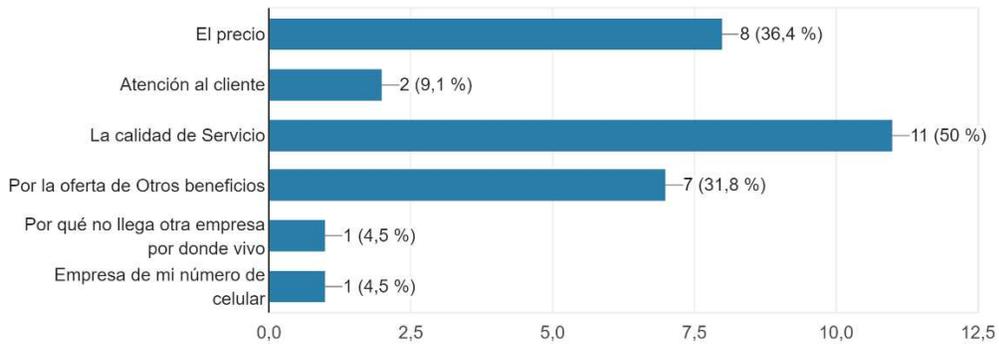
Cual es su empresa proveedora de internet? (puede seleccionar mas de una)

22 respuestas



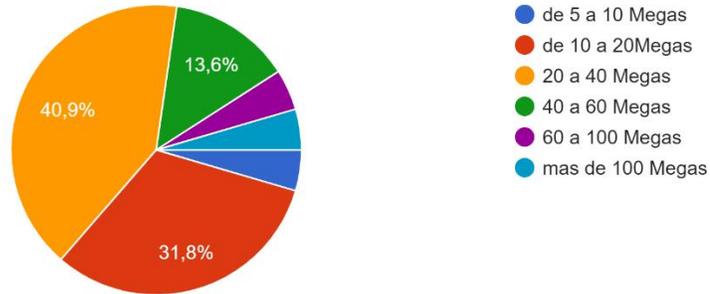
Cual (es) es el factor(es) por el que se decidió suscribirse a su empresa proveedora de internet ?
(puede seleccionar mas de una opción)

22 respuestas



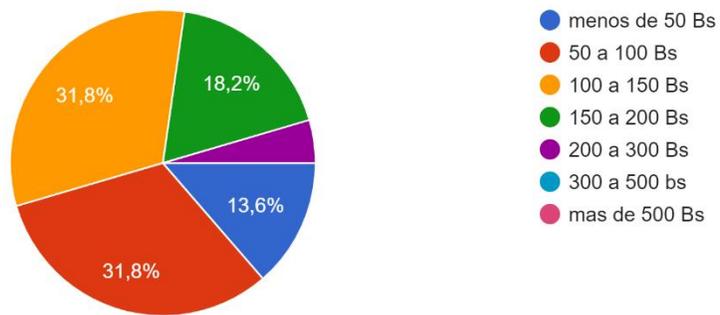
Que velocidad de Internet piensa que es suficiente para su hogar?

22 respuestas



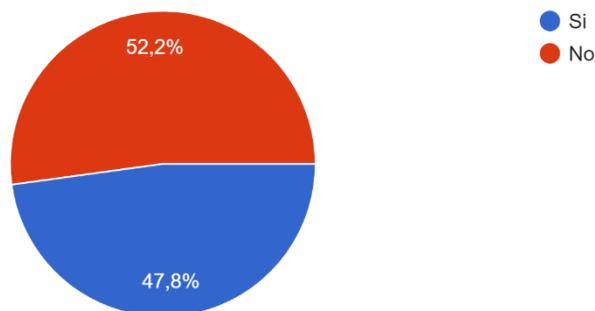
Cuanto estaria dispuest@ a pagar por la velocidad que escogiste en el punto anterior??

22 respuestas



Cambiaría de Empresa Proveedora de Internet?

23 respuestas



De la encuesta anterior podemos concluir que:

- Una mayor parte comunitarios que navega por internet en sus hogares, lo realiza mediante proveedores de servicio “Fijo” sea por Fibra, Coaxial ó xDSL
- El 73% de los usuarios están satisfechos con su proveedor de servicios dando una calificación de 7,8 y 9
- Las empresas Tigo y Entel tienen el mayor índice de penetración con un 39.1% cada uno Cotel cuenta con un 17.3% de penetración
- Un 47% de la población encuestada decide suscribirse a una empresa proveedora por la “calidad de servicio” y un 39% se decide por el precio.
- Un 43% requiere velocidades de 20 a 40 Mbps y un 30.4% piensa que una velocidad recomendable es de 10 a 20 Mbps.
- La mayor parte de población encuestada en la zona 16 de Julio de la ciudad de El Alto que por velocidades de 10 a 230Mbps el precio debería de ser entre 50 a 100 Bs y por 20Mbps a 40 Mbps el precio estimado esta entre 100 Bs a 150Bs.

4.7 Planes Comerciales Propuestos.

En base al estudio de mercado realizado, y las velocidades necesarias para que el usuario final tenga una buena experiencia con el internet al momento de acceder a páginas de Video y Teleconferencia necesarios para Teletrabajo plataformas de streaming, etc.

En consecuencia, en la Tabla 4.4 se detalla el paquete básico de velocidades a ser ofertadas.

Tabla 4.4: Planes de Velocidad Propuestos

Fuente: Propio, en relación a análisis previo

PLAN	VELOCIDAD	ESTIMADO DE CLIENTES
Plan 10	10Mbps	10%
Plan 15	15Mbps	15%
Plan 20	20Mbps	35%
Plan 30	30Mbps	20%
Plan 40	40Mbps	15%
Plan 80	80Mbps	5%
TOTAL		100%

4.8 Asignación de Ancho de banda.

Con la finalidad de realizar el cálculo de ancho de banda necesario para el aprovisionamiento de internet a los usuarios suscritos, es necesario conocer algunos temimos y criterios que se necesitan para concretar lo antes mencionado.

4.8.1 Overbooking (Reúso de ancho de Banda)

El overbooking se puede definir como la reventa de un servicio; visto desde otro punto de vista se entiende cómo en cuantos clientes dividiremos el ancho de banda dedicado/efectivo.

En telecomunicaciones se utiliza **overbooking**, por ejemplo, una compañía de teléfono no tiene la capacidad de responder a todas las llamadas, si todos sus usuarios se decidieran a hablar al mismo tiempo, esto es común, por ejemplo en navidad o fiestas similares, ya que muchos usuarios intentan acceder al servicio, pero la capacidad de -en este caso la central de teléfono- no es la suficiente por la cantidad de reventa que le hace a un POT telefónico y por consiguiente nadie puede establecer la comunicación. (Anrrango, 2015).

Al **overbooking** lo podemos utilizar gracias a que cuando un usuario “navega” no está constantemente utilizando el canal, ya que una vez cargado el sitio el enlace queda sin uso, este tiempo sin uso puede ser utilizado por otro usuario para poder racionalizar el ancho de banda, que por lo general es limitado.

4.8.2 CIR (Committed Information Rate).

El CIR se utiliza en redes de telecomunicaciones para garantizar una calidad mínima de servicio a los usuarios. Es un parámetro que se fija en el tráfico de la red para que cierta cantidad de ancho de banda esté disponible en todo momento, independientemente del tráfico total que esté presente. Sin embargo, cabe destacar que el CIR no garantiza una velocidad constante, sino que está diseñado para garantizar una tasa mínima de bits por segundo (bps) (Tasa de Información Comprometida (CIR), s/f).

4.8.3 MIR (Maximum Information Rate).

La Velocidad Máxima de Información (MIR) en referencia a Banda Ancha Inalámbrica, se refiere al ancho de banda máximo que la Unidad de Suscriptor recibirá desde el punto de acceso inalámbrico en kbit/s.

4.8.4 Cálculo de Ancho de banda

Dentro de las características técnicas del Nodo Maestro EoC reflejado en la Tabla 2.4, es necesario resaltar la tasa de transmisión de Datos por Máster EoC para el cálculo de ancho de banda.

Tasa de transmisión de Datos por Master EoC = 350 Mbps

Este dato es muy importante, ya que indica que cada Maestro EoC puede asignar un máximo de 350 Mbps, por lo tanto, la sumatoria de anchos de banda requeridos por plan propuesto no debería sobrepasar este valor.

Otro parámetro a destacar es el número de usuarios concurrentes por Maestro EoC, si bien es posible tener 253 usuarios simultáneos, se realizará un cálculo de asignación de ancho de banda con un máximo de 64 usuarios por cada maestro EoC, asimismo, enfatizar que se proyecta la instalación de 2 Maestros EoC por cada Nodo CATV, por lo tanto, se tendría una capacidad de 128 usuarios proyectados por nodo CATV.

Usuarios concurrentes por Master = 64 usuarios

Con las observaciones anteriores, a continuación, se realizará un ejercicio para el cálculo de ancho de banda requerido para el plan de 20 Mbps.

Tomando en cuenta la Tabla 4.4, para el plan de 20 Mbps se pretende alcanzar un 35% de un total de 64 usuarios por maestro que llegaría a ser 22 usuarios.

Por lo tanto:

$$\text{MIR} = 22 * 20\text{Mbps} = 440\text{Mbps}$$

Asimismo, conforme a información obtenida por el área de ingeniería²⁷ de COTEL R.L. esta cooperativa asume un overbooking o reuso de 1:6 (1 a 6) para el servicio de internet, que llega a ser un 17% de ancho de banda garantizado.

Por lo tanto:

$$\text{CIR} = 20\text{Mbps} * 0.17 = 3.4\text{Mbps}$$

²⁷ Entrevista con Ingeniero Alfredo Santander COTEL

Entonces el ancho de banda requerido si los 22 usuarios utilizan simultáneamente este el servicio será:

$$BW = 22 * 3.4 \text{ Mbps} = 76.2 \text{ Mbps}$$

Por lo anteriormente expuesto para la atención de 22 usuarios con un plan de 20 Mbps con una garantía del 17 % en hora pico, se requiere de 76 Mbps.

El cálculo realizado para el plan de 20 Mbps se lo realiza para cada uno de los planes propuestos con las consideraciones anteriormente detalladas, por lo cual en la Tabla 4.5 se denota los resultados.

Tabla 4.5: Ancho de Banda Requerido para Planes de Internet Propuesto

Fuente: Propia, en base a cálculos de estimaciones

PLAN	% ESTIMADO DE CLIENTES POR PLAN	MIR (Mbps)	CIR (Mbps)	Usuarios Por Plan	ANCHO DE BANDA POR PLAN (Mbps)
Plan 10	10%	10	1,7	6	10,9
Plan 15	15%	15	2,6	10	24,5
Plan 20	35%	20	3,4	22	76,2
Plan 30	20%	30	5,1	13	65,3
Plan 40	15%	40	6,8	10	65,3
Plan 80	5%	80	13,6	3	43,5
TOTAL				64	286

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 4.5, se verifica que el ancho de banda necesario para todos los planes propuestos es de 286 Mbps. Este valor es menor a la tasa de transmisión de datos por Máster EoC de 350 Mbps, lo que garantiza la funcionalidad del sistema.

Una pregunta que aparece cuando se habla de 64 Clientes por cada Master EoC es:

¿Solo es posible 64 usuarios por NODO?, para ello tenemos que recordar que el número de 64 es una cantidad que obedece a un criterio de diseño, con la finalidad de no sobrecargar el sistema,

además, en un capítulo anterior se pudo demostrar que se pueden instalar 4 Máster en el interior de un Nodo CATV llegando a habilitar a 256 usuarios, pero además, en caso de que la demanda sobrepase esta cantidad proyectada, se puede instalar otros master en el interior de amplificadores Troncales ubicados en la red HFC.

En otras palabras, este sistema hace posible que la red HFC actual de COTEL R.L. pueda ser aprovechada al 100% , ya que, en caso de una mayor demanda del servicio, se puede evitar el colapso del sistema con el incremento de equipos Máster EoC.

4.9 Presupuesto óptico (EoC).

Tal como se planteó en un inicio, el sistema EoC se utilizará una OLT de 8 puertos como sistema de transporte y esta será instalada en Central 12 de octubre.

Se debe mencionar que COTEL R.L. tiene 4 HUB's en Anillo para el Broadcast del servicio de CATV, y están en las Centrales de Calacoto, Gran Centro, Villa San Antonio y 12 de octubre, en estas centrales es donde están ubicadas los ODF's que enlazan los diferentes NODOS CATV sean de los Paquetes "A" o "B".

Al momento de realizar el presupuesto óptico, es necesario verificar la normativa actual para redes GPON ,ya que, la misma está bajo la norma IUT-T G984.x²⁸ en la tabla 4.6 se muestran los valores reales que COTEL R.L. registra al momento de implementar redes FTTH

²⁸ Recomendación de la ITU 984.2 la cual refiere los parámetros máximos y mínimos clase B+ Valores de referencia de los medios físicos dependientes (ITU-T G984.x).

Tabla 4.6: Parámetros para Certificar una Red FTTH GPON de COTEL R.L.

Fuente: Ingeniería de Planta Externa COTEL R.L.

Característica	Unidad	Valor	Observaciones
OLT:		OLT	
Minima potencia media de salida (1490 nm)	dBm	+2,5	Con SFP B+
Maxima potencia media de salida (1490 nm)	dBm	+6.5	Con SFP C+
Minima sensibilidad	dBm	-26	
Minima sobre carga	dBm	-8	
ONU:		ONU	
Minima potencia media de salida (1310 nm)	dBm	+0,5	ONU BRIDGE CDATA
Maxima potencia media inyectada (1310nm)	dBm	+3	ONU BRIDGE CDATA
Minima sencibilidad	dBm	-26	
Minima sobrecarga	dBm	-8	

Asimismo, la normativa ITU-T G984.x especifica los parámetros de medios físicos, los cuales deben de ser tomados en cuenta al momento de realizar el presupuesto óptico.

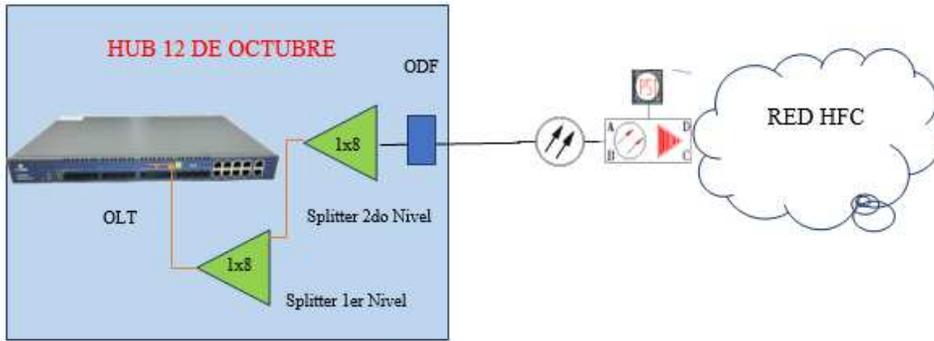
Al momento de realizar la suma de atenuaciones generadas por los componentes de la red pasiva FTTH, conforme a la recomendación ITU-984 nos recomienda adicionar un margen de seguridad de 3 dB esta atenuación estará orientada a anticipar posibles anomalías en un futuro, estas anomalías ocasionadas por distintas causas incrementarían la atenuación final.

Asimismo, se utilizará transceptores ópticos SFP (Small Form-factor Pluggable) B+ con una potencia de salida promedio de 3 dBm.

Se implementará el primer Splitter LCP (Local Converg Point) y 2do Splitter NAP en la Oficina Central donde también estará instalada la OLT. Esta configuración se detalla en la Figura 4.8.

Figura 4.8: Topología Red de Transporte de Datos EoC en Base a OLT GPON

Fuente:Propia



Cotel R.L. cuenta con enlaces ópticos desde los Hubs CATV y todos los NODOS HFC, por lo que se realiza un cálculo basándonos en las distancias, la cantidad de Conectores, empalmes mecánicos y/o fusión, esto en la longitud de onda de 1310 nm, esto debió a que esta es la banda en la que trabaja el equipo Terminal ONU y es la que cuenta con la mayor atenuación dentro del enlace óptico.

En la Tabla 4.7 se detalla los resultados obtenidos en el cálculo de enlace óptico con las consideraciones antes mencionadas.

Tabla 4.7: Presupuesto Óptico Enlace, Central OCT - Nodo 282 EAL

Fuente: Propia, en base a datos de distancia siniestrado por COTEL R.L.

PLANILLA DE PRESUPUESTO OPTICO				
Elementos de la red de Fibra Óptica	Cantidad	Perdida de elemento Típica (dB)	Total Perdida (dB)	
Conectores (pareada) ITU671=0,5dB	4	0,50	2,00	
Empalmes por fusión ITU751=0,1dB averange	4	0,10	0,40	
Empalmes mecánicos ITU751=0,1dB averange		0,20	0,00	
Splitter	1x2	3,50	0,00	
	1x4	7,00	7,00	
	1x8	10,50	10,50	
	1x16	14,00	0,00	
	1x32	17,50	0,00	
	1x64	21,00	0,00	
Fibras Longitudes de Onda	1310 nm	7	0,35	2,45
	1490 nm		0,30	0,00
	1550 nm		0,25	0,00
TOTAL (dB)			21,8	

Siguiendo la misma hermenéutica en la Tabla 4.8 se realiza el presupuesto óptico para el enlace Central 12 de octubre y Nodo 4 EAL de la zona 16 de Julio de la ciudad de El Alto

Tabla 4.8: Presupuesto Óptico enlace Central OCT - Nodo 4 EAL

Fuente: Propia, en base a datos de distancia siniestrado por COTEL R.L.

PLANILLA DE PRESUPUESTO OPTICO			
Elementos de la red de Fibra Óptica	Cantidad	Perdida de elemento Típica	Total Perdida (dB)
Conectores (pareada) ITU671=0,5dB	4	0,50	2,00
Empalmes por fusión ITU751=0,1dB averange	4	0,10	0,40
Empalmes mecánicos ITU751=0,1dB averange		0,20	0,00
Splitter	1x2		3,50
	1x4	1	7,00
	1x8	1	10,50
	1x16		14,00
	1x32		17,50
	1x64		21,00
Fibras Longitudes de Onda	1310 nm	4	0,35
	1490 nm		0,30
	1550 nm		0,25
TOTAL (dB)			20,8

Con los valores antes obtenidos se realiza una sumatoria de los mismo para luego verificar si cumple con las recomendaciones ITU-G948

$$ATT \text{ en ONU} = \text{Potencia de Tx} - ATT \text{ Total}$$

$$ATT \text{ ONU Pacajes} = 3 - 21.8 = -19.8 \text{ dB}$$

$$ATT \text{ ONU 16 de Julio} = -3 - 20.8 = -17.8 \text{ dB}$$

Con estos niveles de atenuación final desde central 12 de octubre hacia los Nodos 4 y 282 de las zonas 16 de Julio y Pacajes Caluyo respectivamente, se verifica la estabilidad del sistema.

Asimismo, al momento de incluir 2 Splitter de 1x8 se cuenta con 64 puertos disponibles para la instalación de más nodos EoC, pero esto será posible siempre que al momento de verificar el tráfico del puerto PON de la OLT no sobre pase 2,5 Gbps Down y 1.25 en Up,

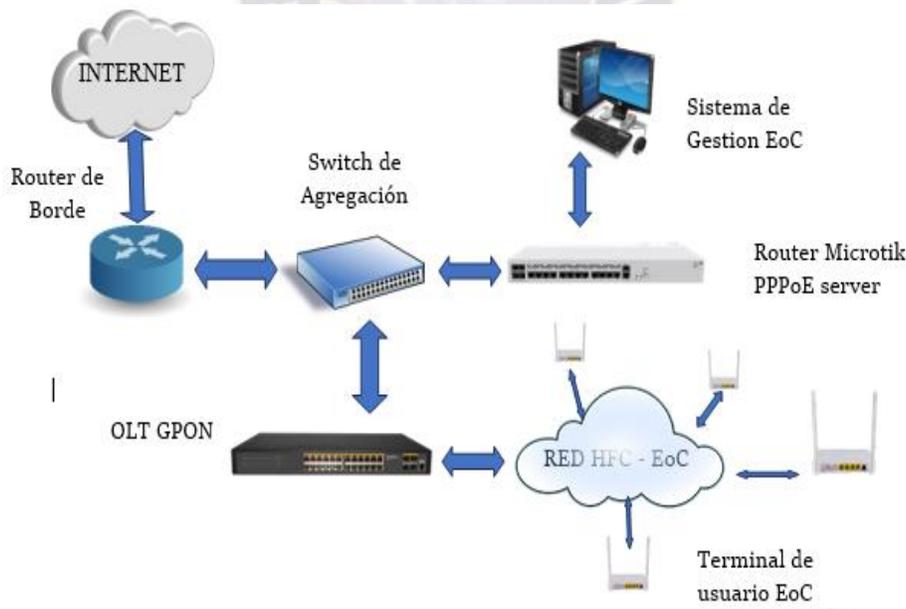
cuando el tráfico en horas pico se acerque a estos valores será un indicio para dejar de utilizar el puerto y habilitar otro.

4.10 Sistema de Gestión EoC.

El sistema de gestión del sistema EoC estará conformado por un Router de capa 3 (de acuerdo al modelo OSI) Microtik CCR1036, que por sus características técnicas nos garantiza la administración de una media de 1500 usuarios, mediante este equipo es que se realizará la gestión de usuarios, ya que es posible realizar la asignación de anchos de banda reflejada en QUEUES en donde se verificará las velocidades de subida y bajada, en la Figura 4.9 se muestra a ubicación de este equipo dentro de un sistema de Transporte con el que cuenta COTEL R.L.

Figura 4.9: Sistema de Gestión EoC

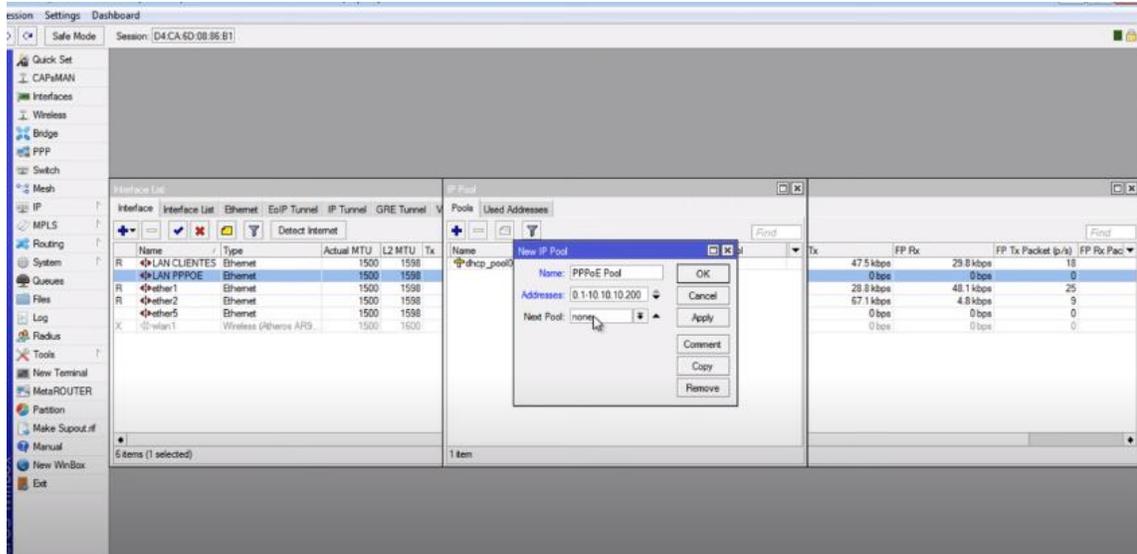
Fuente: Propia, en base a configuración Router Microtik



La administración estará establecida a través del sistema de gestión del equipo Microtik, donde se realizará la configuración de un servidor PPPoE, que en primera instancia asigna el puerto por el cual daremos servicio a nuestros clientes, posteriormente se delimita el pool de

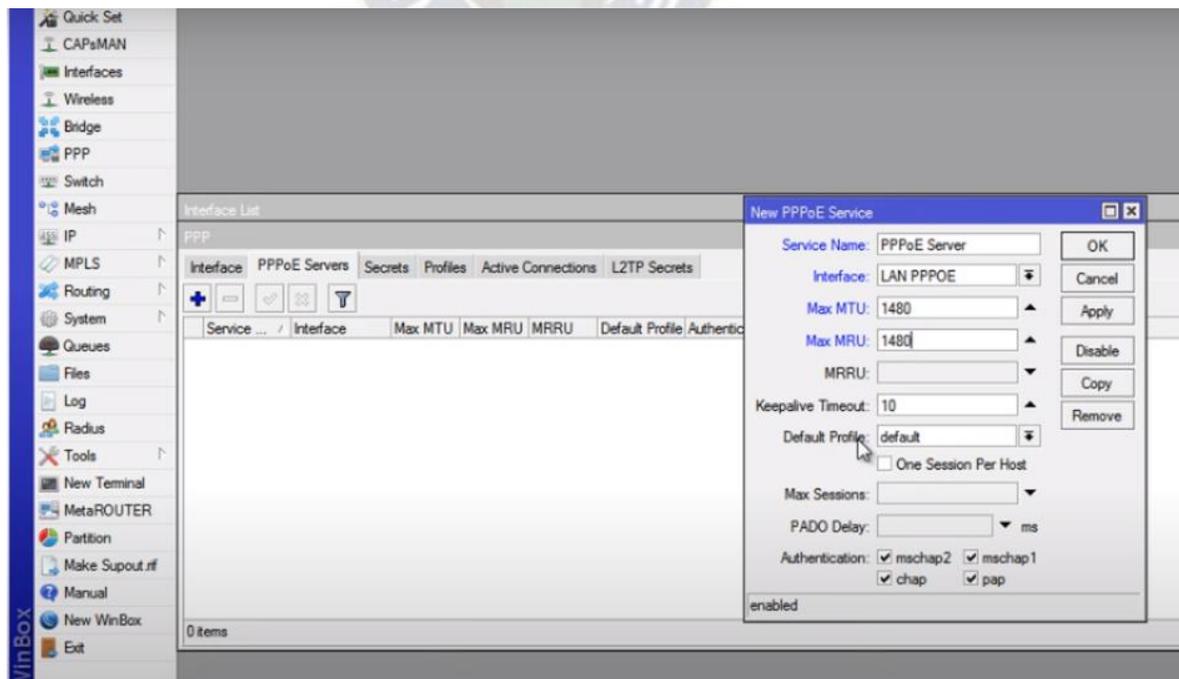
direcciones IP que este asignará a los usuarios que se conecten al sistema, un ejemplo de esta configuración se la puede ver en la Figura 4.10.

Figura 4.10: Configuración pool de IP Servidor PPPoE



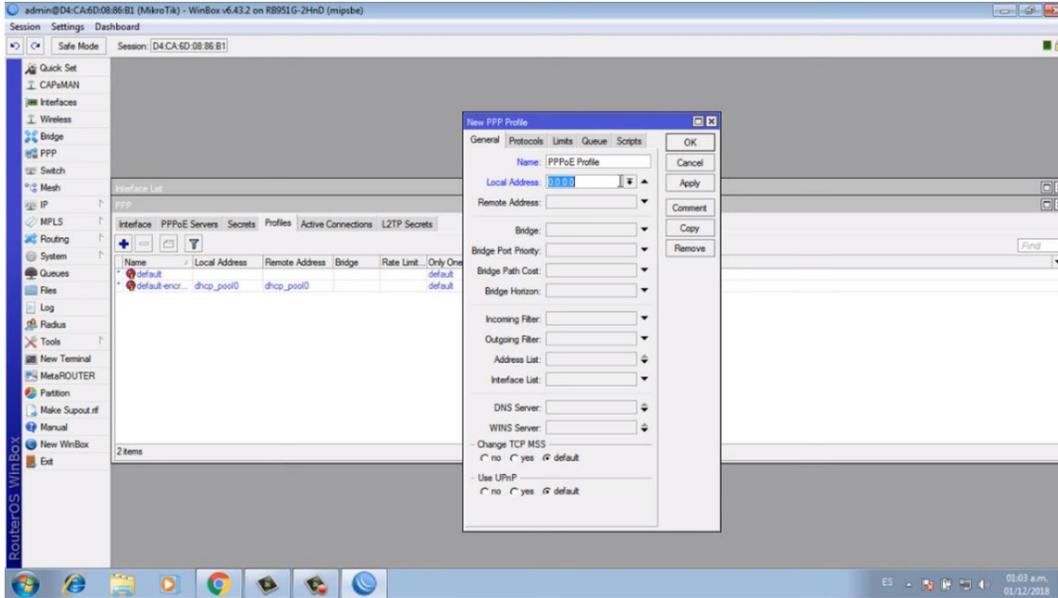
Posteriormente se realiza la creación del servidor PPPoE asignando un Nombre a dicho servidor asignado el puerto de distribución de servicio mostrado en la Figura 4.11.

Figura 4.11: Creación de servidor PPPoE



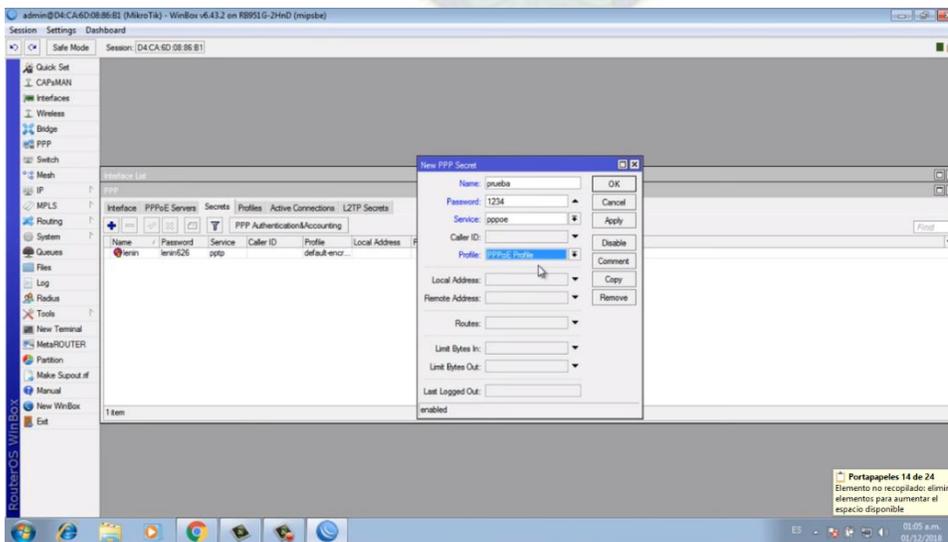
Asimismo, creamos un “Profile” al que asignaremos un Nombre, el pool de IP’s tanto para las direcciones locales y remotas como se muestra en la Figura 4.12.

Figura 4.12 Creación de “Profile”



Seguidamente (ver Figura 4.13) en la opción “SECRET” se configura la sesión de usuarios PPPoE asignando el nombre de usuario y el password donde la dirección IP será asignada por el Profile creado anteriormente.

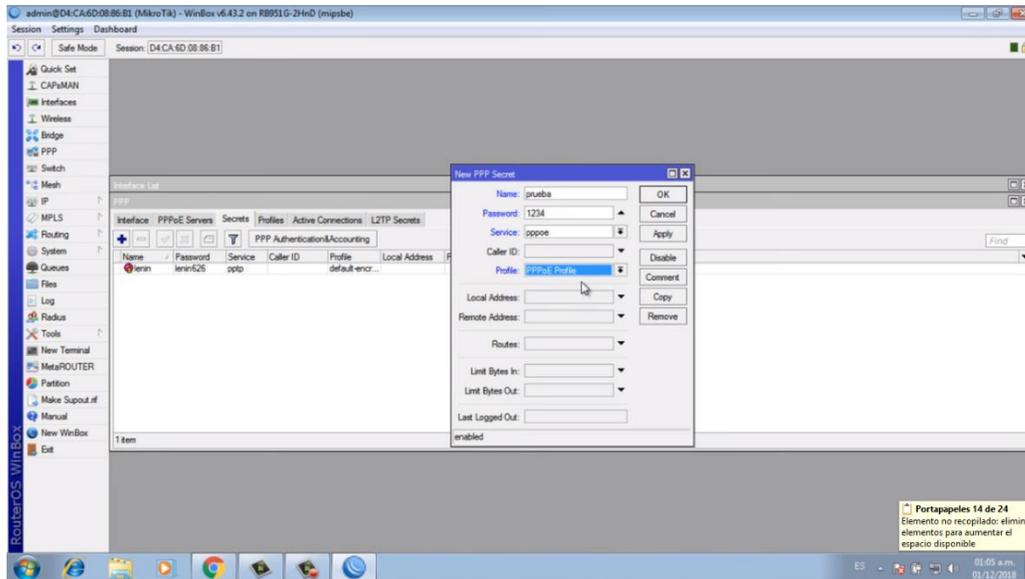
Figura 4.13: Creación de cuenta PPPoE



Para limitar el ancho de banda del cliente dentro la opción PPP ingresamos a

“Profiles” y en la pestaña “Limits” asignamos el ancho de banda de subida y bajada

Figura 4.14: Limitación de Ancho de Banda



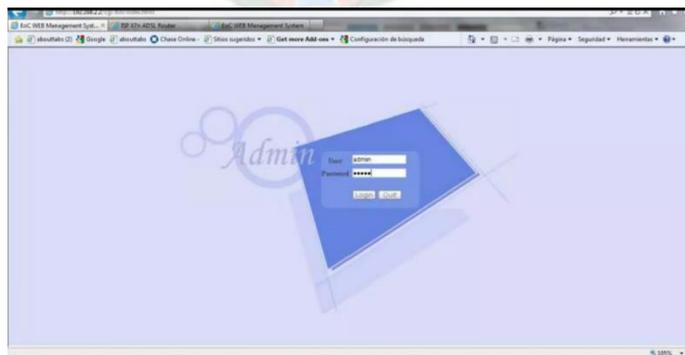
Se deben de crear perfiles para los diferentes planes comerciales expuestos en puntos anteriores

4.10.1 Administración Master EoC

Los módulos maestros cuentan con su propia interfaz WEB y con la ayuda de un pc, conectamos el puerto LAN al puerto de gestión SNMP, posteriormente en el navegador de internet se introduce la dirección 192.168.6.1 donde se mostrará la imagen de la figura 4.15.

Figura 4.15: Ingreso a Interface WEB Master EoC

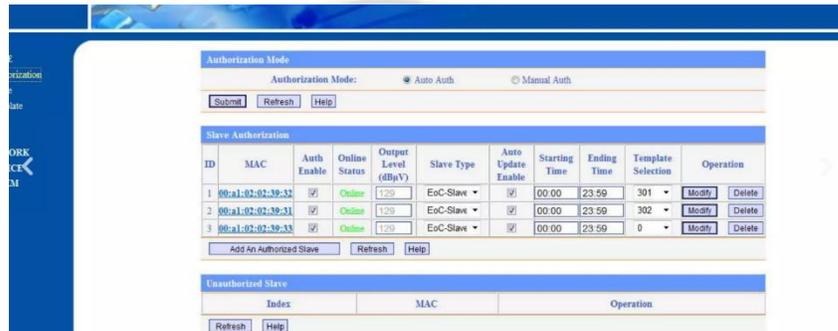
Fuente: <https://mauser.pt/catalog/userfiles/804-0090.pdf>



En la Figura 4.16, se puede ver una de las operaciones que se puede realizar como ser la administración de equipos Terminales EoC (Esclavos) donde se puede verificar si en equipo está en funcionamiento o en línea, la potencia de salida en dBuV, además la selección del archivo de configuración TEMPLATE.

Figure 4.16: Interface WEB Master EoC

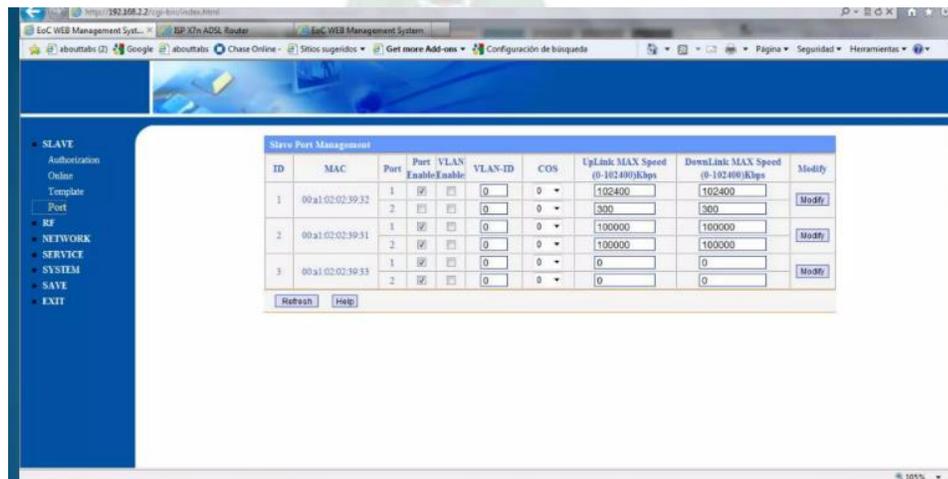
Fuente : <https://mauser.pt/catalog/userfiles/804-0090.pdf>



Asimismo, con la interface WEB es posible asignar anchos de banda a los distintos terminales de usuario y gestionar las redes virtuales de dependen de determinados Puertos.

Figure 4.17: Interface WEB EoC

Fuente: <https://mauser.pt/catalog/userfiles/804-0090.pdf>



Para mayor información sobre las funciones y operaciones que tienen dichos equipos, se sugiere visitar la página web <https://mauser.pt/catalog/userfiles/804-0090.pdf>.

Es importante realizar esta gestión desde la central de monitoreo, por lo que el equipo máster EoC puede ser asignado a una red virtual independiente, con lo que se podrán realizar:

- Cortes de servicio.
- Modificación de anchos de banda.
- Configuración de sesión PPPoE sin necesidad de estar configurado previamente.
- Reinicio del sistema etc.

4.10.2 Administración terminal de usuario EoC.

Para la administración del equipo Terminal EoC en primera instancia se debe de conectar un puerto LAN a una computadora o también se puede ingresar mediante la configuración WiFi, escribiendo en el navegador WEB la dirección 192.168.1.1, posteriormente tendremos la imagen mostrada en la Figura 4.18 donde por defecto el nombre de usuario es “admin” y contraseña “admin”.

Figura 4.18 Pagina inicio Esclavo EoC



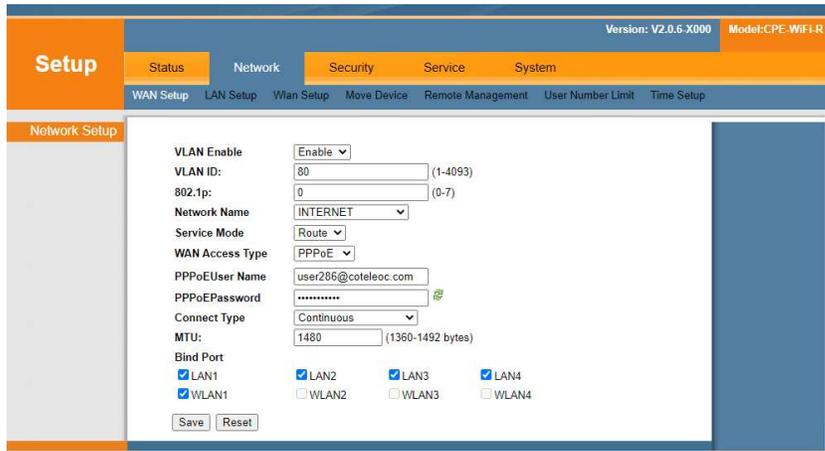
WiFi

Username:

Password:

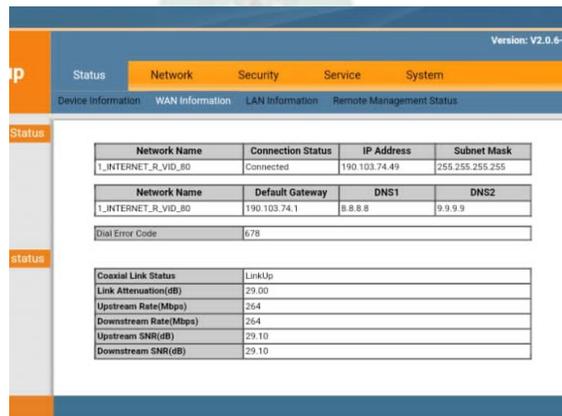
Posteriormente es preciso configurar la sesión PPPoE para lo cual ingresaremos a la opción “Network” (ver Figura 4.19), en la opción WAN SETUP ingresaremos s “modify” para luego asignar el usuario y contraseña que se creó en el servidor PPPoE, expuesto anteriormente.

Figura 4.19: Configuración sesión PPPoE en Terminal EoC



Asimismo, los equipos terminales cuentan con una opción en la que se verifica el estado, el equipo, una opción que es imprescindible verificar es ingresando a la pestaña STATUS en la opción “WAN Information” se verificara el estado del enlace, desde el equipo Máster EoC hasta el equipo Esclavo mostrado en la Figura 4.20.

Figura 4.20: Niveles de Certificación EoC en Terminal CPE (Esclavo EoC)



Nota. Niveles de certificación equipos esclavo EoC, 264 Mbps de capacidad de transferencia de datos en Down stream y Up Stream, y 29.1 Relación Señal a Ruido.

4.10.3 Certificación Red HFC Sistema EoC.

Una vez concluida la instalación del equipo Maestro EoC en el nodo CATV, es recomendable realizar un trabajo de certificación de la red, esto debido a que al tratarse de redes HFC habilitadas en gestiones anteriores, estas podrían presentar alteraciones en su infraestructura que originen ruido o atenuaciones muy elevadas.

Los niveles de señal Ruido con aquellos que reflejaran el estado de la red, esto estará directamente relacionado con el rendimiento de nuestro sistema; a continuación, se detallan los parámetros a ser medidos:

Link Attenuation. - Es el valor de atenuación total entre el equipo maestro y terminal CPE.

Upstream Rate (Mbps). - Velocidad de transferencia de datos de subida en Mega bits segundo.

Downstream Rate (Mbps). - Velocidad de transferencia de datos de descarga en Mega bits/seg.

Upstream SNR (dB). - Relación señal a ruido, que muestra el estado de la red en subida.

Downstream SNR (dB). - Relación Señal Ruido prueba en datos de descarga.

El rango de los valores antes señalados debe de estar acorde a la tabla de valores máximos y mínimos de la Tabla 4.9, para obtener un máximo desempeño del sistema.

Tabla 4.9: Valores Máximos y Mínimos en la certificación EoC.

DESCRIPCION	MIN	MAX	OBSERVACIONES
Link Attenuation (dB)	20	63	Si pasa de 63 dB enlace inestable
Upstream Rate (Mbps)	100	270	Menor a 100 Mbps máxima velocidad garantizada 50 Mbps
Downstream Rate (Mbps)	100	270	Menor a 100 Mbps máxima velocidad garantizada 50 Mbps
Upstream SNR (dB)	10	30	Menor a 10 dB Línea Ruidosa, revisa red coaxial
Downstream SNR	10	30	Menor a 10 dB Línea Ruidosa, revisa red coaxial

4.11 Cronograma de Actividades

En la tabla 4.10 se detalla las actividades tentativas, sin tomar en cuenta la instalación de OLT, Transmisor óptico y Edfa en Hub COTEL porque este se instalará previamente y será plataforma para el resto de Nodos

Tabla 4.10: Cronograma de Actividades Integración EoC

Actividades	Semana 1				Semana 2				Semana 3					
Relevamiento y tratamiento de datos de nodos a implementar	■	■												
Preparativo de insumos y materiales	■	■	■											
Instalación de caja Nap (de acuerdo a diseño)				■										
Instalación de Equipo Maestro				■										
Adaptación de la Red (Amplificadores)				■	■									
Pruebas de Funcionamiento Tap inicial -final (certificación)					■	■	■	■						
Corrección de anomalías de red							■	■	■					
Elaboración de Informe										■				
Venta del servicio											■	■	■	■

COTEL cuenta con canalizaciones y postación propia por la cual tiene desplegada una red de Fibra óptica que interconecta sus centrales y éstas hacia los Nodos CATV, asimismo debido a que la integración del sistema EoC se lo realiza sobre redes CATV existentes no son necesarios estudios adicionales para un rediseño de red, esto reduce significativamente el tiempo de implementación del sistema, en consecuencia, al momento de realizar el relevamiento de red este se enfocará en certificar los hilos de fibra óptica que existen entre el Nodo y la central de COTEL R.L.

En redes HFC con topología árbol rama que generalmente tienen una zona de cobertura mayor debido a las cascadas de amplificadores, simplemente se hará a adición de equipos maestros. Este tiempo está contemplado dentro del periodo asignado para los preparativos de insumos y materiales.

El periodo de certificación, además de verificar el funcionamiento del sistema EoC, develará la calidad de la red HFC (por el valor de SNR) y debido a la posible existencia de fallas, se toma un periodo de tres días para dar solución a las mismas.

Por lo expuesto, se proyecta que el proceso de implementación del sistema EoC conllevaría un periodo de 2 semanas, y a partir de la tercera semana, técnicamente se tendría habilitado el Nodo CATV para la venta del servicio de internet de banda ancha.



Capítulo 5 Análisis Económico del Proyecto

5.1 Introducción.

Al momento de determinar si un proyecto es viable para su ejecución, es necesario realizar una estimación basada en proyecciones estadísticas del rendimiento económico del proyecto de estudio, por lo cual se constituye en uno de los aspectos centrales a considerar, por la importancia en la determinación de la rentabilidad del proyecto, así como los elementos sujetos a valorización como desembolsos del proyecto.

Rodríguez (2023) indica que” *El análisis de costo-beneficio es el proceso de analizar las decisiones de un negocio, cuando una decisión está bajo consideración, el costo de una opción es restado del beneficio del mismo. Al realizar un análisis de costo-beneficio la administración puede decir si una inversión vale la pena o no para el negocio*”

Por ello se realizará un análisis del costo de equipos, puesta en funcionamiento y otros aspectos con lo que se realizará un cálculo costo/beneficio que mide la relación entre el coste por unidad producida de un bien o servicio y el beneficio obtenido por su venta.

En ese entendido, es necesario que Cotel R.L. tenga un punto de referencia para determinar un presupuesto base de inversión para luego establecer las fuentes de financiamiento del proyecto.

En el presente acápite analizaremos la selección de componentes costo-eficientes, mismos que deberán satisfacer las necesidades funcionales del proyecto capaces de brindar un servicio eficiente a los clientes. También permitirá determinar si es viable y obtener beneficios en términos de recuperación de la inversión y calidad del servicio que se trata de brindar.

5.2 Análisis de Costos de Inversión (CAPEX).

De acuerdo a Abellán, 2018, “El Capex (capital expenditure), en español Gasto en Capital, es la inversión en capital o inmovilizado fijo que realiza una compañía ya sea para adquirir, mantener o mejorar su activo no corriente”, se refiere a los costos que una empresa realiza con la finalidad de obtener un beneficio, realizando compras que mejoren sus activos fijos.

En el presente proyecto se evaluarán también los costos para la compra e implementación de equipamientos para la activación del sistema EoC.

Como ya se explicó en acápite anteriores, el sistema EoC tiene la ventaja, de ser implementado sobre redes HFC existentes, este último aspecto hace que nuestro análisis se lo realice sobre una capacidad de casas pasadas previamente establecida en el dimensionamiento de la red de CATV de COTEL.

Asumiendo una media de 600 Bocas por Nodo²⁹, la habilitación de 120 puertos de internet mediante EoC (por nodo), equivale al 20% de usuarios proyectados por NODO CATV de las Zonas 16 de Julio y Pacajes Caluyo de la ciudad de El Alto.

Lo anterior contrasta con los datos emitidos por la ATT que muestra una penetración del 53% del acceso a internet fijo en Bolivia y un crecimiento del 24% en los últimos 10 años.

COTEL deberá asumir costos de compra de equipos necesarios para la implementación del sistema en Planta Interna y Externa, donde se instalarán equipos activos y pasivos, para lo cual se realiza la cotización de equipamiento con distintos proveedores de la urbe paceña.

En las figuras 2.49 y 2.50 se detallan dos tipos de plataformas de transporte la primera basada en convertidores de medios Ethernet/óptico y la segunda mediante una OLT por lo que se analizarán ambos tipos de transporte de datos.

²⁹ Lo que quiere decir que el dimensionamiento de la red es para una media de 600 casas o usuarios

En la tabla 5.1 se detallan los costos estimados asumiendo la compra de una OLT de 8 Puertos

Tabla 5.1: Costos Estimados Equipos Activos con OLT
Fuente: Propia, en base a cotizaciones con proveedores locales

Descripción	Cantidad (Pza)	Precio Und (Bs)	Total (Bs)
OLT GPON 8 Ptos	1	15500	15500
Microtik CCR1036	1	10000	10000
Nodo Master EoC	2	3500	7000
Router Slave EoC	256	140	35840
Otros	1	200	200
Total (Bs)			68540

En la Tabla 5.2, se considera la inversión con la adquisición de enlaces punto a punto adquiriendo Conversores de medios (Media Converter).

Tabla 5.2: Costos Estimados Equipos Activos con CM
Fuente: Propia, en base a cotizaciones con Proveedores Locales

Descripción	Cantidad (Pza)	Precio Und. (Bs)	Total (Bs)
CM Conversor Medios	2	400	800
Microtik CRS125	1	2500	2500
Nodo Master EoC	2	3500	7000
Router Slave EoC	256	140	35840
Otros	1	200	200
Total Bs			46340

Si bien la reducción de costos es más de 22 mil Bs, hay que considerar que COTEL R.L. cuenta con más de 190 nodos CATV con un potencial de más de 100 mil casas pasadas, (sin tomar en cuenta edificios), ante semejante potencial comercial es preciso realizar inversiones que

garanticen la sostenibilidad del proyecto a largo plazo sin la necesidad de realizar inversiones (parche) para ampliar las capacidades del sistema.

En consecuencia, aunque el precio sea más elevado se optará por la inversión de la tabla 5.2 asumiendo que una OLT GPON no solo podrá servir de plataforma de Transporte de Datos, sino que también podrá ser utilizada para dar servicios de internet a usuarios locales llamados VIP.

El precio referencial de 2 Máster EoC está basándonos en precios de un proveedor local como es la tienda JEB Electronic (C. Murillo C. La Paz).

En la tabla 5.3 se puede ver la relación de precios de equipos pasivos que se requiere para la implementación del sistema EoC en Nodos CATV de COTEL.

Tabla 5.3: Precios estimados Equipos Pasivos

Fuente: Propio, en base a cotizaciones con proveedores locales

Descripcion	Cantidad (pzas.)	Precio Und (Bs.)	Total (Bs)
Splitter 1x8	2	60	120
Conectores SC/UPC	1	15	15
PatchCord	6	15	90
otros			100
		Total (Bs)	325

Si bien el precio para la implementación de un Nodo CATV “No” se tomará en cuenta para el análisis del costo final de inversión, es necesario tener en cuenta la inversión estimada que COTEL R.L. realizo por cada nodo. CATV

En la Tabla 5.4 recuperado del Repositorio de la UMSA se detalla los costos para la implementación de una red HFC, detallando el material que necesario para una primera fase del proyecto.

Tabla 5.4: Presupuesto Red HFC, COTEL R.L.

Fuente: (Telecomunicaciones, C. E. Y. (s/f). UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES. Umsa.bo.

Recuperado el 25 de junio de 2023, de

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12169/TD-1390-Callisaya%20Mamani%2C%20Fidel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Item	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL REQUERIDO EN EL PROYECTO	Unidad	Cant.	P/U	Total (\$us)	MATERIAL RECUPERADO		MATERIAL ALM. TEC		COMPRA DE MATERIALES	
						CANTIDAD RECUP	COSTO NUEVO	CANT	COSTO	CANT	COSTO
2 EQUIPOS OPTICOS											
2.17	NODO OPTICO	Pza.	1	4497,88	4497,88						0,00
2.25	PIGTAIL SC/APC	Pza.	1	8,93	8,93						0,00
2.26	Tubos termocontráctiles F.O.	Pza.	2	1,87	3,74						0,00
3 ENERGIA											
3.1	FUENTE DE PODER STAND BY	Pza.	1	2533,88	2533,88						0,00
3.2	GABINETE PARA FUENTE DE PODER	Pza.	1	637,14	637,14						0,00
3.3	BATERIAS PARA FUENTE DE PODER	Pza.	1	190,35	190,35						0,00
3.4	INSERTOR DE POTENCIA	Pza.	1	29,13	29,13						0,00
4 ELEMENTOS ACTIVOS											
4.6	AMPLIFICADOR BLE (CCOR)	Pza.	8	540,00	4320,00						0,00
5 ACCESORIOS DE ELEMENTOS ACTIVOS											
5.1	Ecuilizador SFE-n	Pza.	5	12,69	63,45						0,00
5.28	Atenuador JXP-n	Pza.	2	3,17	6,34						0,00
5.56	Simulador de cable SCS-n	Pza.	3	12,69	38,07						0,00
6 CABLE COAXIAL											
6.1	CABLE COAXIAL TRONCAL AEREO .500	m	1470	4,20	6172,77	1469,7					0,00
6.3	CABLE COAXIAL AEREO .500	m	3645	1,85	6743,44	3645,4					0,00
7 CONECTORES											
7.1	CONECTOR PARA CABLE 0.750 CON PIN	Pza.	0	14,78	0,00						0,00
7.2	CONECTOR PARA CABLE 0.500 CON PIN	Pza.	168	6,40	1075,20	168					0,00
7.5	ADAPTADOR HOUSING TO HOUSING	Pza.	31	6,87	212,97	31					0,00
7.6	ADAPTADOR DE 90°	Pza.	15	10,13	151,95	15					0,00
7.7	ADAPTADOR DE 180°	Pza.	4	22,37	89,48	4					0,00
7.12	TUBOS TERMOCONTRÁCTILES PARA CATV	Pza.	168	1,48	248,22	168	245,22	168	245,22		0,00
8 ELEMENTOS PASIVOS											
8.1	SPLITTER DE DOS SALIDAS	Pza.	6	29,13	174,78	6					0,00
8.2	SPLITTER DE TRES SALIDAS	Pza.	4	29,13	116,52	4					0,00
8.4	ACOPLADOR DIRECCIONAL DE 12 dB	Pza.	5	29,13	145,65	5					0,00
8.6	CARGA TERMINAL PARA TAP	Pza.	24	5,55	133,20	24					0,00
8.8	ACOPLADOR DIRECCIONAL DE 16 dB	Pza.	3	29,13	87,39	3					0,00
8.9	ACOPLADOR DIRECCIONAL DE 7 dB	Pza.	16	29,13	466,08	16					0,00
9 TAPS DE LINEA (2 SALIDAS)											
9.3	TAP DE 11 dB DE ATENUACION	Pza.	1	12,27	12,27	1					0,00
9.4	TAP DE 14 dB DE ATENUACION	Pza.	1	12,27	12,27	1					0,00
10 TAPS DE LINEA (4 SALIDAS)											
10.1	TAP DE 8 dB DE ATENUACION	Pza.	18	13,01	234,18	18					0,00
10.2	TAP DE 11 dB DE ATENUACION	Pza.	4	13,01	52,04	4					0,00
10.3	TAP DE 14 dB DE ATENUACION	Pza.	13	13,01	169,13	13					0,00
10.4	TAP DE 17 dB DE ATENUACION	Pza.	12	13,01	156,12	12					0,00
10.5	TAP DE 20 dB DE ATENUACION	Pza.	11	13,01	143,11	11					0,00
10.6	TAP DE 23 dB DE ATENUACION	Pza.	4	13,01	52,04	4					0,00
10.7	TAP DE 26 dB DE ATENUACION	Pza.	4	13,01	52,04	4					0,00
10.8	TAP DE 29 dB DE ATENUACION	Pza.	4	13,01	52,04	4					0,00
15 POSTES											
15.1	POSTE NUEVO	Pza.	14	130,00	1820,00	14	1.820,00			14	1820,00
15.2	Poste Corrido	Pza.	13	130,00	1690,00	13	1.690,00			13	1690,00
15.3	Poste Ericsson	Pza.	1	0,00	0,00	1	0,00			1	0,00
15.4	Poste K	Pza.	1	0,00	0,00	1	0,00			1	0,00
15.5	Poste O	Pza.	1	0,00	0,00	1	0,00			1	0,00
15.6	Poste Palma	Pza.	2	0,00	0,00	2	0,00			2	0,00
15.7	POSTE Octogonal existente	Pza.	29	0,00	0,00	29	0,00			29	0,00
15.8	POSTE DE Concreto	Pza.	32	0,00	0,00	32	0,00			32	0,00
16 HERRAJERIA Y OTROS											
16.2	MORCETO	Pza.	29	3,00	87,00	29	87,00	29	87,00		0,00
16.3	CINTURON AJUSTABLE	Pza.	92	5,00	460,00	92	460,00	92	460,00		0,00
16.4	SOPORTE EN "U" (ALCORAGEM)	Pza.	147	4,00	588,00	147	588,00	147	588,00		0,00
16.5	TAP BRACKET	Pza.	101	4,00	404,00	98	392,00	98	392,00		0,00
16.7	GUARDACABO DE 1/2"	Pza.	147	0,38	55,86	147	55,86	147	55,86		0,00
16.8	MALLA DE 2.77 mm	Pza.	206	0,77	158,62	192	147,84	192	147,84		0,00
16.9	MALLA 3/16	Pza.	23	1,77	40,71	28	49,56	28	49,56		0,00
16.12	SEPARADOR DE CABLES CON FITAS	Pza.	492	0,47	0,00	492	0,00				0,00
16.14	CABLE DE ACERO 3/16	Pza.	333,4	0,72	240,00	333,4	240,00	333,4	240,00		0,00
16.15	ALAMBRE DEVANAR FORRADO PVC (105 m	Rollo	1,968	50,00	98,40	1,808	90,40	1,808	90,40		0,00
16.17	DISPOSITIVO DE SEGURIDAD GTP-59	Pza.	284	1,00	284,00	284	0,00				0,00
16.2	CINTA PVC	Rollo	11	2,50	27,50	11	27,50	11	27,50		0,00
16.26	CINTA IT	m	145	0,79	114,55	140	110,60	140	110,60		0,00
16.27	HEBILLAS PARA CINTA IT	Pza.	145	0,67	97,15	140	93,80	140	93,80		0,00
16.28	TUBO PARA TIERRA	Pza.	29	9,81	284,49	28	274,68	28	274,68		0,00
16.29	JABALINA A TIERRA DE 2.4 m con conector	Pza.	29	8,17	236,93	28	228,76	28	228,76		0,00
16.30	CABLE DE COBRE No. 12 AWG	m	290	0,61	176,90	280	170,80	280	170,80		0,00
16.32	GEO GEL	bol	14,5	7,07	102,51	14	98,98			14	98,98
16.33	BENTONITA	bol	7,21	15,56	112,81	7	108,92			7	108,92
16.34	TIERRA NEGRA	m3	5,80	21,22	123,08	5,6	118,88			5,6	118,88
16.35	ALIMENTACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA	Gbl	1	169,73	169,73	1	169,73			1	169,73
16.36	ARENA PARA REPOSICIÓN DE ACERA	m3	2,90	5,00	15,90	2,8	15,40			2,8	15,40
16.37	CEMENTO PARA REPOSICIÓN DE ACERA	bol	2,90	7,82	22,68	2,8	21,90			2,8	21,90
16.38	TORGEL	Caja	5,80	34,28	198,82	5,6	191,92			5,6	191,92
TOTAL (\$us)					36.711,45		7.501,58		3.265,88		4.235,77

En la Tabla 5.4 se puede apreciar que el precio estimado para la primera fase de implementación de una red HFC de 220 bocas es de 36.317 \$uS (Treinta y seis mil trescientos diez y siete 00/100 Dólares), en consulta con personal de ingeniería de COTEL R.L. (Ing. Alfredo Santander) indican que el precio de un Nodo en promedio es de 75.000 (Setenta y cinco mil 00/100 \$u\$) lo que equivale a 522.000 Bs (Quinientos veintidós mil 00/100 Bs.)

Si hacemos un paréntesis en este punto, nos preguntamos si, “¿Es coherente dejar a un lado esta inversión?”, tomando en cuenta que COTEL R.L. cuenta con más de 200 Nodos CATV.

Tabla 5.5:CAPEX de material necesario para la instalación de Red EoC

Fuente: Propia

ITEM	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Unid.	Cnt.	PRECIO UNITARIO	TOTAL Bs.	Observaciones
				(Bs)		
I	COSTO DE EQUIPOS RED DE TRANSPORTE GPON					
1	Fibra Optica 12 hilos	Mts.	0	8	0	Fibra existente en red CATV
2	Muflas de Empalme	Pza.	0	269	0	En extencia previa
3	Bandejas Opticas (ODF)	Pza.	0	600	0	En existencia previa
4	NAPs	Pza.	2	370	740	
5	Splitter 1x4	Pza.	2	120	240	
6	Splitter 1x8	Pza.	4	150	600	
7	Pictails SC-APC	Pza.	4	15	60	
8	Patchcord SC/APC	Pza.	6	20	120	
9	Acopladores SC/APC	Pza.	4	3,5	14	
SUBTOTAL - COSTOS RED DE TRANSPORTE					1774	
II	COSTO DE EQUIPOS GPON					
1	OLT BTPON 8 puertos	Pza.	1	15500	15500	
2	Nodo Master EoC	Pza.	4	3500	14000	
SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON					29500	
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET					
1	Router Principal Mikrotik CCR1036	Pza.	1	10000	10000	
SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET					10000	
TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)					41274	
TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)					5.930	

Considerando los puntos anteriores, se realiza un análisis de costos CAPEX detallados en la tabla 5.5 donde además, a manera de referencia, se describe algunos elementos que son necesarios para el despliegue del sistema EoC,

Se debe puntualizar que la compra del equipo OLT y router MicroTik se lo realizará solo por esta primera fase. Para la ampliación de nuevos nodos solo se realizará la compra de Nodos Máster EoC por Nodo CATV. Ya que, de acuerdo con la topología propuesta, se podría alcanzar hasta 32 Nodos CATV por cada puerto PON.

Asimismo, el hecho de contar con una red existente implica que:

- No se considera la compra de un rack de 42 posiciones, ya que por sus dimensiones los equipos de Oficina (OLT de 8 puertos, Router y Splitter) se instalarán en bastidores existentes de COTEL.
- No se considera el tendido de fibra óptica hasta el Nodo CATV ya que esta infraestructura se encuentra instalada previamente, en caso de nodos Bidireccionales de COTEL estos cuentan con 4 hilos de Fibra óptica que viene desde los HUB's hacia los NODOS, 2 hilos son para CATV y 2 Hilos para Retorno (Ver figura 5.1), se utilizará un hilo de reserva de Retorno para enlace GPON Hub CATV-Nodo.

Figura 5.1: Asignación de hilos de F.O. Nodos CATV a EoC

Fuente: Propia, en base a información de Ingeniería COTEL R.L.



- Para habilitar los amplificadores troncales, extensores de línea y otros en planta externa, se deben de **“Retirar”** componentes activos (Híbridos de retorno) y pasivos (Pad's y Eq's) y reemplazarlos por puentes metálicos, que no representan gastos significativos de lo contrario se logra recuperar componentes para su reutilización.

5.3 Análisis de Costos de Operación (OPEX).

El Opex por sus siglas en inglés Operational Expenditures, se define como el total de gastos recurrentes que la empresa realiza para la operatividad de los sistemas instalados. Las variables a ser consideradas son: Comercialización, materiales, personal, diseño, etc.

En consecuencia, es necesario tomar en cuenta todos y cada uno de los costos que se requiere para que el servicio ofrecido satisfaga las necesidades del mercado y tener un manejo más eficiente del capital.

Por ejemplo, en la tabla 5.6 se muestra de un estimado del material necesario por cada instalación, considerando que Cotel asumirá el costo de equipo terminal EoC (esclavo EoC) y que la distancia promedio de instalación desde la boca del tap hasta el usuario final es de 80 mts, y que además de internet se instalará el servicio de CATV.

Tabla 5.6: Costos de Instalación Usuario EoC.

Fuente: Propia, en base a cotizaciones en tiendas e importadores Locales

INSUMOS POR INSTALACION			
Descripción	Cantidad	Precio U. (Bs)	Total (Bs)
Conectores Rg6	2	3,5	7
Cable RG6	80	0,8	64
Cable Modem (Esclavo EoC)	1	220	220
OTROS			5
TOTAL (Bs)			291

En lo referente al personal (recurso humano) que se requiere, indicar que se propone que el sistema en su primera fase estará a cargo de una pareja de técnicos y un personal administrativo, y se tomaran como sueldo base el salario mínimo nacional.

En la Tabla 5.7 se presenta los gastos operaciones estimados para el funcionamiento el sistema, tomando en cuenta las consideraciones antes detalladas.

Tabla 5.7: Costos de Operación (OPEX)

Fuente: Propio

COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)						
ITEM	Descripcion	Und.	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Precio Parcial (Bs)	observaciones
I						
Pago de Personal (Mensual)						
1	Salario Mensual de tecnicos		2	2200	4400	
2	Salario mensual l administrativo		1	2200	2200	
Sub Total - Gasto Personal (Empleado)					6600	
II						
Pago de Servicios (Mensual)						
1	Transporte - gasolina	Ltr.	110	3,74	411,4	80 eventos al mes
2	Servicio Internet Mensual COMTECO	Mbps	500	35	17500	de acuerdo a proyeccion
2	Impuestos y otros por ambientes		1	1100	1100	
3	Servicio Luz		3	330	990	
4	Alquiler de postes		0	0	0	
Sub Total - Gastos Servicios					20001,4	
III						
Gastos Material x Instalacion						
1	Cable Coaxial	Mts.	60	1	60	
2	Conectores F	Pza.	4	5	20	
3	Router Esclavao EoC Con Wifi	Pza.	1	240	240	
Sub Total - Gasto Material					320	
TOTAL - COSTO DE OPERACIÓN CON MATERIAL INSTALACIÓN					26921,4	
TOTAL - COSTO DE OPERACIÓN SIN MATERIAL INSTALACIÓN					26601,4	

En la tabla anterior se muestran los costos de operación aproximados, donde vemos que no se toma en cuenta el alquiler de postes, ya que COTEL R.L. cuenta con postación propia.

Dentro de esta tabla los costos de instalación son pequeñas en comparación al capital inicial, porque en CAPEX se realiza la adquisición de la mayor parte de insumos como ser los equipos router Esclavo, considerando que las compras realizadas al por mayor tienen costos preferenciales al momento de realizar las compra.

Asimismo, es recomendable considerar la asignación dentro del POA (Plan operativo anual) el presupuesto de mantenimiento preventivo y correctivo, considerando que todo sistema cualquiera que sea este tiende a sufrir desgaste o daños intrínsecos o extrínsecos que deberán ser atendidos en el menor tiempo posible.

Al momento de asignar un presupuesto de mantenimiento, se recomienda que este debe ser entre un 2% a 5 % proporcional al costo de inversión realizada de los costos implementación del sistema, en el caso del presente proyecto asignaremos un 5% del presupuesto de inversión en vista de que la red HFC ya habría sido implementada con anterioridad incrementando la probabilidad de fallas.

El costo de internet por 1 Mbps dedicado conforme a información de la empresa COMTECO la cual da servicio a COTEL R.L. es de:

$$5.04 \text{ dólares} = 35.1 \text{ Bs / Mbps}$$

Conforme al análisis previo de ancho de banda requerido para los planes de internet propuesto, se requiere 300 Mbps dedicado. Asumiendo un sistema de 2 nodos EoC se calcula la compra de 500 Mbps.

Por lo tanto, el gasto mensual será de:

$$35 \times 500 = 15.000 \text{ Bs x mes}$$

5.4 Análisis de Ingresos y Egresos Anuales.

Para realizar el análisis de flujo de caja entre ingresos y egresos, se tomarán en cuenta el análisis CAPEX y OPEX realizado anteriormente, para ver proyección de rentabilidad del sistema en un periodo de 3 años, luego de completar este estudio. A la conclusión de dicho análisis se determinará si el proyecto es viable o no. Conforme al criterio técnico-económico que

se refleja en la inversión de material invertido que nos ayudará a establecer su potencial y, además, si se ajusta a la estrategia de negocio de la empresa.

Por lo cual tomaremos tres indicadores que son el PRI (periodo de recuperación de inversión), el VAN (Valor Actual neto) y la TIR (Tasa interna de retorno).

5.4.1 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

La pregunta que generalmente se realiza el inversionista al momento de involucrarse en un determinado proyecto es: ¿Cuánto tiempo debo esperar para recuperar mi inversión?

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuanto tiempo se recupera el total de la inversión a valor presente, además, puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial, mientras más corto sea el periodo de recuperación más atractivo será el proyecto para los inversionistas.

Ecuación 5.1: Formula para cálculo del PRI

Fuente: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas>

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversion}}{\text{Flujo de efectivo anual}}$$

De la ecuación 5.1 nos muestra la fórmula para el cálculo del PRI, sin embargo, hay que mencionar que este indicador, ignora los flujos netos de efectivo más allá del periodo de recuperación, por lo que es un buen indicador a corto plazo, pero no del total, ya que también ignora el valor del dinero en el tiempo al no aplicar una tasa de descuento o coste de capital.

5.4.2 Valor Actual Neto (VAN).

El VAN representa el valor futuro del dinero que va a recibir el proyecto en diferentes periodos, recuperando las inversiones realizadas, cubriendo los costos de inversión y obteniendo utilidades o ganancias.

Es el método más utilizado al momento de evaluar proyectos de inversión a largo plazo, ya que permite determinar si una inversión cumple con el objetivo financiero, que es maximizar la inversión.

Este valor nos permite determinar si la inversión va a incrementar o reducir el valor del operador, ya que las variables a considerar son: la inversión inicial (I_0), los flujos netos efectivos, la tasa de descuento (r) y el número de periodos que dura la explotación de la infraestructura de Red (n), misma que viene determinada por la siguiente expresión.

Ecuación 5.2: Fórmula para el cálculo del VAN

Fuente: <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

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

Donde:

I_0 = Inversión inicial del proyecto

FN_j = Flujos de caja

i = Tasa de retorno

n = Numero de periodos del proyecto

Que llega a ser la resta de la inversión inicial a la sumatoria de todos los flujos netos efectivos sobre la tasa de descuento o tasa interna elevada al número de periodos.

La tasa de retorno sobre la inversión está fijada por el inversionista, nosotros asumiremos que la inversión se la realiza gracias a un préstamo bancario, por lo que tomando en cuenta que el 5.5% es la que ofrecen la mayoría de las entidades financieras actualmente.

En el caso de obtener un VAN de retorno negativo significa que nuestra inversión producirá una tasa de retorno del capital superior a la esperada por el operador, mientras que una VAN negativa significa que la tasa de retorno es inferior a la esperada y ,por lo tanto, el proyecto tendría que ser rechazado.

5.4.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

El principio del TIR viene a ser la tasa de descuento que hace que el valor del VAN sea igualado a cero (0). Razón por la cual su resultado siempre será expresado de manera porcentual. El objetivo de la TIR es mostrar el valor de rendimiento de la inversión realizada comparable a una tasa de interés expresado en porcentaje.

Se trata de una tasa crítica de rentabilidad al compararse con la tasa mínima de rendimiento requerida por el operador para un proyecto de inversión. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, indica que se estima un rendimiento mayor al mínimo requerido y por tanto el proyecto de inversión resulta provechoso, pero si el TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar.

En la ecuación 5.3 se muestra la fórmula matemática para el cálculo de TIR

Ecuación 5.3: Fórmula de cálculo de TIR

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

o lo que es lo mismo VAN = 0

5.5 Análisis Económico.

A continuación, se realizará el cálculo para verificar la factibilidad económica o no del sistema EoC, tomando en cuenta que solo se instalarán 2 Nodos, donde en total se habilitarán 256 puertos de internet.

En primera instancia calcularemos cuál debería de ser el ingreso de capital máximo una vez que se hayan vendido el total de los planes ofertados en acápite anteriores, en la tabla 5.8 se muestra cual debería de ser la recaudación máxima por pagos de servicios de internet por el sistema EoC, de los 2 Nodos Habilitados.

Tabla 5.8 Precios de recaudación mensual aproximada

Fuente: Propio

PLAN	COSTO	CANTIDAD	RECAUDACION (Bs)
Plan 10	99	40	3960
Plan 15	115	60	6900
Plan 20	125	90	11250
Plan 40	220	46	10120
Plan 80	400	20	8000
TOTAL		256	40230 (Bs)

En las tablas 5.9 se verán los flujos de ingresos y egresos totales anuales, donde se denotará el capital inicial, egresos y la ganancia total. Posteriormente se realizarán los cálculos de VAN y TIR y así definir si el proyecto es factible o no, con las siguientes consideraciones.

- El precio por la instalación de servicio, estará basado en la tabla 5.6 que detalla los insumos por instalación, este valor será de 250 Bs, aunque este valor es menor a lo calculado en la tabla mencionada, los pagos del servicio mensuales cubrirán esta inversión.
- Se estima un máximo de 45 instalaciones al mes, esto debido a que el personal también estará a cargo del mantenimiento del sistema, atención de posibles fallas, soporte técnico, asesoramiento y también se considera contratiempos intrínsecos y extrínsecos.
- El retiro de usuarios por una u otra causa es inevitable, por lo que, aunque idealmente no debería de existir este caso es necesario tomarlo en cuenta.
- El primer mes de funcionamiento no se realiza cobro por el servicio, este cobro se lo realiza a partir del segundo mes.
- En el primer mes se realiza la instalación del sistema, por lo que las instalaciones del servicio serán mínimas en este mes, y el máximo estimado se lo alcanzará el máximo alrededor del octavo mes.
 - Al momento de llegar a los 256 usuarios como máximo, los ingresos por costos de instalación reducirán, pero como ya lo antecedimos, también existirán los retiros, por lo que los costos por instalaciones serán directamente proporcionales a los retiros.
 - Solo se cuenta con una pareja de técnicos a cargo del sistema.

Conforme al porcentaje de crecimiento de internet Fijo de 24% que la ATT muestra en su Boletín Informativo, el incremento anual de usuarios de internet que debería tener COTEL es de 1500 usuarios adicionales, debiendo realizar 125 instalaciones al mes.

Tabla 5.9: Flujo de CAJA (Egresos e Ingresos) anuales

Fuente: Propio

FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS	1er AÑO												TOTAL ANUAL
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	
CANT. ESTIMADA DE INSTALACIONES	15	40	45	35	30	41	32	45	2	6	3	5	299
CANT. ESTIMADA DE RETIROS			1	2	5	4	5	10	2	6	3	5	43
INGRESOS PAGO DE SERVICIO	0	2355	8635	15543	20724	24649	30458	34697	40192	40192	40192	40192	297829
INGRESOS POR INSTALACION	3750	10000	11250	8750	7500	10250	8000	11250	500	1500	750	1250	74750
INGRESOS TOTALES	3750	12355	19885	24293	28224	34899	38458	45947	40692	41692	40942	41442	372579
EGRESOS OPEX + MATERIAL DE INSTALACION MES	31401,4	39401,4	41001,4	37801,4	36201,4	39721,4	36841,4	30201,4	26761,4	27081,4	26841,4	27001,4	400256,8
MANTENIMIENTO	1570	1970	2050	1890	1810	1986	1842	1510	1338	1354	1342	1350	20012,84
EGRESOS TOTALES	32971	41371	43051	39691	38011	41707	38683	31711	28099	28435	28183	28351	420269,64
INGRESO NETO	-29221	-29016	-23166	-15398	-9787	-6808	-225	14236	12593	13257	12759	13091	-47690,64
INVERSION CAPITAL CAPEX (Bs)	41274								Ingreso Neto - capital	-88964,6			
FLUJO DE INGRESOS Y EGRESOS	2do AÑO												TOTAL ANUAL
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	
CANT. ESTIMADA DE INSTALACIONES	2	2	3	3	5	6	5	7	7	10	10	5	65
CANT. ESTIMADA DE RETIROS	2	1	3	4	5	6	5	7	7	10	10	5	65
INGRESOS PAGO DE SERVICIO	40192	40192	40192	40192	40192	40192	40192	40192	40192	40192	40192	40192	482304
INGRESOS POR INSTALACION	500	500	750	750	1250	1500	1250	1750	1750	2500	2500	1250	16250
INGRESOS TOTALES	40692	40692	40942	40942	41442	41692	41442	41942	41942	42692	42692	41442	498554
EGRESOS OPEX y MATERIAL DE INSTALACION	26761,4	26761,4	26841,4	26841,4	27001,4	27081,4	27001,4	27161,4	27161,4	27401,4	27401,4	27001,4	324416,8
MANTENIMIENTO 5%	1338	1338	1342	1342	1350	1354	1350	1358	1358	1370	1370	1350	16220,84
EGRESOS TOTALES	28099	28099	28183	28183	28351	28435	28351	28519	28519	28771	28771	28351	340637,64
INGRESO NETO	12593	12593	12759	12759	13091	13257	13091	13423	13423	13921	13921	13091	157916,36

En la tabla 5.9, se realiza un análisis del flujo de caja tomando en cuenta los ingresos y egresos en 2 años de funcionamiento de sistema EoC, debemos aclarar que este periodo corto se lo toma considerando que el monto de inversión de 41.274 Bs (cuarenta y un mil doscientos setenta y cuatro 00/100 bolivianos) es mínimo, debido a que no se realizan inversiones en planta externa por utilizar redes existentes que ya habrían recuperado sus costos de inversión en periodos anteriores.

Luego del séptimo mes se habrían realizado la cantidad de instalaciones proyectada, por lo que los ingresos por el pago de servicios se estabilizan en 40.192 Bs, ya que los retiros deberán ser restituidos en el transcurso del siguiente periodo, asimismo, se asigna un 5% del total recaudado para el mantenimiento del sistema.

Para una mejor comprensión, realizaremos un resumen del flujo antes mencionado mostrado en la tabla 5.10.

Tabla 5.10: Resumen de Ganancias Anuales

Fuente: Propio

Ganancias Total Anual							
Año	Ingresos Pago de Servicios	Ingresos por costo de instalacion	Ingresos Sub Totales (Bs)	Egresos Con Material de Instalacion	Egresos por Mantenimiento	Egresos Sub Totales (Bs)	Ganancia
Año 1	297829	74750	372579	400256,8	20012,84	420269,64	-47690,64
Año 2	482304	16250	498554	324416,8	16220,84	340637,64	157916,36

5.5.1 Cálculo de VAN Proyecto EoC.

Para el cálculo del valor actual neto haremos una estimación del valor estimado de los montos recaudados en el periodo estimado para el estudio del proyecto para este cálculo y conforme a las tasas de interés del fondo financiero de créditos que ofrece al gobierno boliviano FOCREMI de 6%.

Primeramente, actualizaremos los flujos de caja con la tasa antes mencionada

$$\text{Actualización a 1 año} = \frac{-47690.64}{(1 + 0.06)^1}$$

Actualización 1er año = -44991.17 para el primer año

$$\text{Actualización 2do año} = \frac{157916.36}{(1 + 0.06)^2}$$

Actualización 2do año = 140544.1 para el Segundo año

Tabla 5.11: Proyección de Saldo Actualizado

Fuente: Propio

TASA	6%		
Periodo	0	1	2
Flujo	-41274	-47690,64	157916,36
Saldo actualizado a 6%	-41274	-44991,17	140545,00
Saldo actualizado acumulado	-41274	-86265,17	54279,83

Analizando la tabla anterior calculamos el VAN

$$VAN = -41274 + \frac{-47690.64}{(1 + 0.06)^1} + \frac{157916.36}{(1 + 0.06)^2}$$

VAN = 54279.83 Bs.

Con lo que podemos decir que en el periodo de evaluación del proyecto, este recupera la inversión, para la tasa del 6% , pero además existe un excedente de 54.279 Bs (cincuenta y cuatro mil doscientos setenta y nueve 83/100 bolivianos), lo que agrega valor

En consecuencia, se puede determinar que este proyecto es **VIABLE**.

5.5.2 Cálculo de TIR de Proyecto EoC

Ahora analizaremos la tasa de inversión de retorno la cual se calcula igualando el VAN a cero (0).

$$TIR = -41274 + \frac{-47690.64}{(1 + 0.06)^1} + \frac{157916.36}{(1 + 0.06)^2} = 0$$

$$TIR = 46\% \text{ en 2 años}$$

Esto quiere decir que la tasa interna de retorno es mayor a la tasa del 6% con la que se realiza el cálculo, debemos recordar que en el análisis de Flujo de Caja no se toma en cuenta el alquiler de postes y la implementación del sistema se la realiza sobre redes existentes lo que reduce considerablemente los montos de inversión.

5.5.3 Cálculo del PRI

Para el cálculo del periodo de recuperación de inversión, relacionaremos el saldo actualizado acumulado antes de que los valores sean positivos, con el saldo actualizado al 6 % cuando el saldo es positivo.

$$PRI = 1 - \frac{-86265.17}{140545.00}$$

$$PRI = 1.61$$

Esto indica que luego de un año y seis meses se realiza la recuperación de la inversión del proyecto.

Los valores estimativos están basados en los gastos de operación acorde a precios de mano de obra calificada actual.

Tal como refleja la tabla 5.10, a partir del 8° mes los trabajos por instalaciones se habrían reducido, por lo que este escenario es favorable para habilitar más redes de CATV con el sistema EoC.

Para la habilitación de nuevos nodos CATV con el sistema EoC no es necesaria la adquisición de equipos para la red de transporte por lo que los montos de inversión se reducen mismos que se exponen en tabla 5.12.

Tabla 5.12: Costos de Inversión para ampliaciones EoC

Fuente: Propia

COSTO DE CAPITAL (CAPEX)						
ITEM	COSTO DE PLANTA EXTERNA FO - RED ODN	Unid.	Cnt.	PRECIO	TOTAL	Observaciones
				UNITARIO		
				(Bs)		
I	COSTO DE EQUIPOS RED DE TRANSPORTE GPON					
1	Fibra Optica 12 hilos	Mts.	0	8	0	Fibra existente en red CATV
2	Muflas de Empalme	Pza.	0	269	0	En existencia previa
3	Bandejas Opticas (ODF)	Pza.	0	600	0	En existencia previa
4	NAPs	Pza.	2	370	740	
5	Splitter 1x4	Pza.	0	120	0	
6	Splitter 1x8	Pza.	0	150	0	
7	Pictails SC-APC	Pza.	4	15	60	
8	Patchcord SC/APC	Pza.	6	20	120	
9	Acopladores SC/APC	Pza.	4	3,5	14	
SUBTOTAL - COSTOS RED DE TRANSPORTE					934	
II	COSTO DE EQUIPOS GPON					
1	OLT BTPON 8 puertos	Pza.	0	15500	0	
2	Nodo Master EoC	Pza.	1	3500	3500	
SUBTOTAL- COSTO DE EQUIPOS GPON					3500	
III	COSTOS DE EQUIPOS NODO INTERNET					
1	Router Principal Microtik CCR1036	Pza.		10000	0	
SUBTOTAL - COSTO DE EQUIPOS NODO INTERNET					0	
TOTAL COSTO DE CAPITAL (Bs)					4434	
TOTAL COSTO DE CAPITAL (\$us)					637	

El monto para ampliación del sistema EoC es de aproximadamente 4434 Bs (cuatro mil cuatrocientos treinta y cuatro 00/100 bolivianos).

Capítulo 6 Conclusiones y Sugerencias

6.1 Conclusiones

Una vez concluido el Proyecto de Grado, se llegan a las siguientes conclusiones:

6.1.1 Generales.

- COTEL R.L. atraviesa una situación económica difícil que no le permite realizar un cambio tecnológico de manera masiva, sin embargo, cuenta con redes HFC en las ciudades más importantes del departamento de La Paz, convirtiéndose en una “**Gran Oportunidad**” de ampliar la oferta de servicios de internet de manera masiva sobre estas redes, implementando el sistema EoC.
- Se demuestra que la integración de módulos Máster EoC en interior de Nodos Scientific Atlanta es posible, logrando una optimización de recursos.
- Técnicamente, “**No es viable**” el intercambio directo de Nodos Scientific Atlanta a Nodos EoC, tal como recomienda la topología EoC debido a la diferencia de niveles de potencia de RF en CATV (dBmV).
- El sistema EoC es flexible y escalable, puede modificar o ampliar su capacidad de usuarios en conformidad con la demanda.
- El sistema EoC puede brindar anchos de banda hasta 100 Mbps simétricos (descarga y subida de datos).
- Conforme a la topología planteada para el sistema EoC se concluye que a través de “**Un puerto PON**” es posible habilitar hasta 32 Nodos EoC con una capacidad máxima de 2048 usuarios.

- Es posible integrar el sistema EoC sobre redes HFC Unidireccionales y Bidireccionales, ya que, a diferencia de la norma DOCSIS, no utiliza canales separados de Up y Down, y emplea las redes Coaxiales como medio de transmisión de datos conforme a la norma HOMEPLUG AV2
- Debido a que el sistema EoC se instala sobre redes coaxiales existentes, los costos de inversión son reducidos y, de acuerdo al análisis económico, el retorno de capital se lo lograría a corto plazo, demostrando la rentabilidad de este sistema.
- Es factible la implementación de un sistema HIBRIDO EoC y GPON donde los usuarios de la red HFC podrán tener el denominativo de “**General**” y paralelamente habilitar una Caja NAP (de 16 puertos) para usuarios mediante la red FTTH mediante F.O. tendrán el denominativo de usuario “**VIP**”, siendo el área comercial de la empresa COTEL quien defina las tarifas de ambos sistemas.
- La implementación del sistema EoC, es una solución “**recomendable**” para empresas que realizaron inversiones previas en el tendido de redes HFC y requieren una migración paulatina a redes ópticas pasivas de mayor capacidad en volumen de datos, ya que utiliza la red GPON como plataforma de transporte, por lo que logra ser una antesala a tecnologías xPON.
- Actualmente el presente proyecto se encuentra en proceso de implementación.

6.1.2 Aportes Personales

- En el punto 3.3.1, se detallan las dificultades al momento de integración del sistema EoC a las redes HFC de COTEL R.L., sin embargo, al NO encontrar literatura que permita

subsanan dicho percance, se realizó un estudio cuyo resultado es la propuesta “funcional” expuesta en el presente proyecto.

- La habilitación de equipos activos (amplificadores Unidireccionales de 450 Mhz y Bidireccionales de 860 Mhz) de la red HFC es factible, no importando el modelo o antigüedad de estos. Esto es posible retirando los amplificadores híbridos de retorno y posteriormente realizando un bypass.

6.2 Sugerencias.

- Se recomienda sectorizar los nodos CATV demasiado extensos, hasta una topología N+1, aunque idealmente debería ser N+0.
- COTEL R.L. cuenta con acometidas de televisión por cable en más de mil edificios de la ciudad de La Paz y, en vista de la dificultad de ingresar a la mayoría de estos con otra tecnología, se sugiere la adquisición de equipos “EoC Indoor” específicamente para ese tipo de casos.
- COTEL R.L. tiene desplegado más de 190 Nodos HFC en las ciudades de La Paz, El Alto y Viacha, por lo que se sugiere que la implementación del sistema deba de hacerse en la totalidad de estos nodos con la finalidad de incremento de mercado y el cambio de tecnología de usuarios ADSL que actualmente acceden a velocidades de 10 Mbps como máximo.
- El análisis económico expuesto en este documento muestra la rentabilidad del proyecto, asumiendo el salario mínimo nacional para técnicos y administrativos del sistema, sin embargo, el incremento de este factor aumentaría los gastos recurrentes, por lo cual es necesario que la empresa deba ajustar los egresos por pago de sueldos, o si fuera el caso contratar personal exclusivo para el mantenimiento de este sistema.

- Se sugiere que las Ganancias Netas generadas por la implementación del Proyecto EoC deban de reinvertirse, en un inicio el 70% para la implementación de nuevos nodos EoC y el restante 30% para la habilitación de redes FTTH, este porcentaje deberá invertirse conforme se incrementen las redes ópticas.



Capítulo 7 Referencias Bibliográficas

- [1]. Historia – COTEL R.L. (s/f). Cotel.bo. Recuperado el 10 de junio de 2023, de <http://cotel.bo/historia/>
- [2]. Peñaranda (2020, abril 20) Serie “Reflexiones sobre la pandemia en Bolivia” – IISEC-UCB. N.2. Coronavirus en Bolivia: ¿le estamos ganando a la pandemia? (s/f). IISEC Bolivia. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://iisec.ucb.edu.bo/publicacion/serie-reflexiones-sobre-la-pandemia-en-bolivia-iisec-ucb-n2-coronavirus-en-bolivia-le-estamos-ganando-a-la-pandemia>
- [3]. Tomasi, W. (2003). SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRONICA (4ta ed.) Mexico Prentice Hall Hispanoamérica
- [4]. *Especificaciones técnicas cables UTP y coaxial*. (2016, noviembre 17). studylib.es. <https://studylib.es/doc/6618718/especificaciones-t%C3%A9cnicas-cables-utp-y-coaxial>
- [5]. Teleco, M. (s/f). *Mundo teleco*. Blogspot.com. Recuperado el 11 de junio de 2023, de <https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2015/01/cable-coaxial.html>
- [6]. *CABLE COAXIAL - icas_muñoz*. (s.f.). Google.com. Retrieved June 11, 2023, from <https://sites.google.com/site/icasmunoz/segunda-unidad/tipos-de-cables/cable-coaxial>
- [7]. Oliver, R. (2021, July 23). *Partes de cable coaxial y sus funciones*. Ser Teleco. <https://serteleco.com/partes-de-cable-coaxial-y-sus-funciones>
- [8]. *Impedancia característica*. (2022, October 31). LibreTexts Español; Libretxts. https://espanol.libretexts.org/Vocacional/Tecnolog%C3%ADa_Electr%C3%B3nica/Libro%3A_Circuitos_el%C3%A9ctricos_II_-_Corriente_alterna_%28Kuphaldt%29/14%3A_L%C3%ADneas_de_Transmisi%C3%B3n/14.03%3A_Impedancia_caracter%C3%ADstica
- [9]. *Fernando Soulodre Walker Thomas & Betts Corporation*. (n.d.). Slideplayer.Es. Recuperado Junio 13, 2023, from <https://slideplayer.es/slide/18956/>
- [10]. Wikipedia.org website (2017): https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica
- [11]. *info@citel*. (s.f.). Oas.org. Recuperado Junio 13, 2023, desde https://www.oas.org/es/citel/infocitel/2010/abril/ftth_e.asp

- [12]. Castillo, J. A. (2019, febrero 15). *Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo funciona*. Profesional Review; Miguel Ángel Navas.
<https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/>
- [13]. *Fundamentos de las Fibras Ópticas*. (s/f). Tartanga.eus. Recuperado el 21 de junio de 2023, de <https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>
- [14]. *Definición de refracción*. (s. f.).
DefiniciónABC. <https://www.definicionabc.com/ciencia/refraccion.php>
- [15]. *Fibra Óptica*. (s/f). Tecnologia-informatica.es. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://www.tecnologia-informatica.es/fibra-optica/>
- [16]. Bernal, S. (2018, marzo 1). Tipo de fibra optica Capitulo 2 Multimodo (MM). *solutionsfttx*. <https://www.solutionsfttx.com/single-post/2018/03/01/tipo-de-fibra-optica-capitulo-2-multimodo-mm>
- [17]. *Types of optical fiber dispersion and compensation strategies*. (2021, agosto 26). Knowledge. <https://community.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies.html>
- [18]. *¿Es la fibra monomodo G.652 tu mejor opción? | Comunidad FS*. (s.f.). Knowledge. <https://community.fs.com/es/article/is-g652-single-mode-fiber-your-right-choice.html>
- [19]. *Diferentes tipos de fibra óptica*. (s/f). C3comunicaciones.es. Recuperado el 30 de octubre de 2023, de <https://www.c3comunicaciones.es/diferentes-tipos-de-fibra-optica/>
- [20]. Vargas, C. (2020, September 1). *Estándares Fibras ópticas monomodo y multimodo*. SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>
- [21]. George L. (2002, Agosto) Revealing the small range of radio-microwave frequencies https://www.researchgate.net/publication/230976995_My_Way_Revealing_the_small_range_of_radio-microwave_frequencies
- [22]. Wikipedia, F. (2011). Espectro Electromagnetico: Rayos X, Radiacion Termica, Luz, Cuadro Nacional de Atribucion de Frecuencias, Bandas de Frecuencia GSM, Rayos Gamma. Books LLC, Wiki Series.
- [23]. marketing. (2017, November 17). *Las Ventajas y desventajas que tiene la fibra óptica*. Blog de TelecOable: actualidad en cables y conexión electrónica; TELECOCABLE. <https://www.telecocable.com/blog/ventajas-desventajas-la-fibra-optica/1458>

- [24]. Lopez, C. (2017, October 30). Cuatro tipos comunes de conectores de fibra óptica. Medium. <https://medium.com/@clopez.stark/cuatro-tipos-comunes-de-conectores-de-fibra-%C3%B3ptica-4ada21a95541>
- [25]. Turmero, P. (2015, julio 15). *Multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM*. Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos105/multiplexacion-division-frecuencias-ortogonales-ofdm/multiplexacion-division-frecuencias-ortogonales-ofdm>
- [26]. Diez, L. F. (s.f.). *Tema 2 - Técnicas de Acceso Múltiple*. Unican.Es. Retrieved June 14, 2023, from <https://www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/3330.pdf>
- [27]. Garcia Jara, R. F., & Mejia Menendez, J. C. (2013). Diseño, simulación e implementación del esquema de modulación OFDM y de la ecualización en el dominio de la frecuencia. Espol.
- [28]. Lutz, Z. (2012, enero 11). *HomePlug Alliance AV2 specification promises gigabit class networking over electrical wires*. Engadget. <https://www.engadget.com/2012-01-11-homeplug-alliance-announces-av2-specification.html>
- [29]. *HomePlug AV2 whitepaper*. (s/f). Codico.com. Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://content.codico.com/fileadmin/media/download/datasheets/powerline-communication/homeplug-av-av2/homeplug-av2-whitepaper.pdf>
- [30]. Chw, C. (2010, agosto 25). *Western Digital presenta su propio dispositivo Homeplug*. FayerWayer. <https://www.fayerwayer.com/2010/08/western-digital-presenta-su-propio-dispositivo-homeplug/>
- [31]. *IEEE1901*. (s/f). Hmn.Wiki. Recuperado el 22 de junio de 2023, de https://hmn.wiki/es/IEEE_P1901
- [32]. *Curso Basico CATV Capitulo 01*. (s/f). Slideshare.net. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://es.slideshare.net/ingenia-t/curso-basico-catv-capitulo-01>
- [33]. Alejandro, A. (2011). *EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE CATV HACIA LA TRANSMISIÓN DE DATOS*. Edu.ar. Recuperado el 19 de junio de 2023, de <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/download/2775/2457#:~:text=Los%20sistemas%20de%20cAtv%20nacieron,la%20instalaci%C3%B3n%20de%20grandes%20antenas.>

- [34]. *CATV-ANALOGICA-final - kroton*. (s.f.).
 kroton. <https://www.kroton.com.pe/soluciones/catv/catv-analogica-final/#main>
- [35]. Jiménez, J. (2022, enero 9). *Qué diferencia hay entre fibra óptica y cable HFC*.
 RedesZone. <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/diferencias-fibra-ftth-hfc/>
- [36]. Settecase, J., & Completo, V. mi P. (2018). *Introducción Redes HFC, CMTS y DOCSIS*.
 Blogspot.com. Recuperado el 19 de junio de 2023, de
<https://juansettecase.blogspot.com/2018/03/introduccion-redes-hfc-cmts-y-docsis.html>
- [37]. Diaz, M. A. R. (2014, febrero 13). *Inducción a las Redes HFC*. Monografias.com.
<https://www.monografias.com/trabajos99/induccin-redes-hfc/induccin-redes-hfc>
- [38]. *Redes de Fibra Óptica: todo lo que necesitas saber*. (s.f.). aula21 | Formación para la
 Industria. <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-fibra-optica/>
- [39]. Arias, G. V. (2022, marzo 31). ¿Sabes qué es FTTH, FTTH o FTTO? ¡Te
 contamos! *Internexa.com*. <https://blog.internexa.com/es/isp/que-es-fttx>
- [40]. Vargas, C. (2020, September 1). *Estándares Fibras ópticas monomodo y multimodo*.
 SISUTELCO; SISU TELCO SAS. <https://sisutelco.com/estandares-fibras-opticas/>
- [41]. Fandiño, A. (2020, octubre 18). *Componentes principales de las redes FTTH*.
Introducción a redes PON. SISUTELCO; SISU TELCO SAS.
<https://sisutelco.com/redes-fttx-2/>
- [42]. Damon. (2022, enero 4). *¿Qué es GPON (Redes GPON)? VSOL*.
<https://es.vsolcn.com/blogs-detail/what-is-gpon-gpon-networks-22>
- [43]. *Equipos utilizados en las instalaciones FTTH de Movistar (9ª parte): Distancia máxima
 en una red FTTH | Blog de Fibra Óptica y Redes del CIFP Tartanga*. (s.f.). Blog de
 Fibra Óptica y Redes del CIFP Tartanga | Contenidos de fibra óptica, cableado
 estructurado, radioenlaces y sistemas VSAT, instalaciones disponibles y actividades
 realizadas con los alumnos en el CIFP
 Tartanga. [https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2016/08/12/equipos-utilizados-en-las-
 instalaciones-ftth-de-movistar-9a-parte-distancia-maxima-en-una-red-ftth/](https://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2016/08/12/equipos-utilizados-en-las-

 instalaciones-ftth-de-movistar-9a-parte-distancia-maxima-en-una-red-ftth/)
- [44]. 500mbps Edificio Eoc Maestro Ethernet Sobre Coaxial Para Hfc Solución - Buy Eoc
 Master Slave,Eoc Master 200mbps,CATV Over Ethernet Site Master Product on
 Alibaba.com. (s/f). Alibaba.com. Recuperado el 6 de junio de 2023, de

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/500MBPS-building-eoc-master-Ethernet-over-1639022351.html>

- [45]. *4*10/100m Puerto Utp Eoc Esclavo Onu Banda Dual Con Puerto De Tv Puerto De Cable Wifi Eoc Master Onu Módem - Buy Eoc Slave Eoc Master, Onu Huawei Catv Wifi, Onu Router Dual Band Product on Alibaba.com.* (s.f.). Alibaba - la plataforma de comercio entre empresas en línea más grande del mundo. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/EOC-1600207884767.html?spm=a2700.7724857.0.0.2b606e604WzC7M>
- [46]. wiretech – wiretech. <http://wiretechsa.com.ar/wp-content/uploads/2021/10/Tecnologia-EOC.pdf>
- [47]. “*EoC y una mirada hacia el futuro de FTTH*” - ppt descargar. (s.f.). SlidePlayer - descarguen y comparten sus presentaciones PowerPoint. <https://slideplayer.es/slide/17992187/>
- [48]. Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2005, 18 de enero). *Híbrido de fibra coaxial - Wikipedia, la enciclopedia libre*. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Híbrido_de_fibra_coaxial
- [49]. Jaimeccanto. 2010. (<https://es.slideshare.net/jaimeccanto/diapositivas-sobre-redes>)
- [50]. Broadband Equipment | eDGe Broadband Solutions. <https://www.edge-bbs.com/wp-content/uploads/2014/05/Scientific-Atlanta-6940-Product-Data-Sheet.pdf>
- [51]. *DOMUS NETWORK — Arris Mini Bridger 1GHz.* (s.f.). DOMUS NETWORK. <https://domusntw.com/producto/arris-mini-bridger-1ghz/>
- [52]. *ARRIS STARLINE BLE100 Series, 1 Output 1GHz Line Extender Amplifier | Product Catalog | TVC Canada.* (s.f.). TVC CALA. <https://www.tvclatinamerica.com/broadband-electronics/arris-starline-ble100-series-1-output-1ghz-line-extender-amplifier/spa>
- [53]. Broadband Equipment | eDGe Broadband Solutions. <https://www.edge-bbs.com/wp-content/uploads/2014/05/Scientific-Atlanta-6940-Product-Data-Sheet.pdf>
- [54]. *Diapositivas sobre Redes.* (s/f). Slideshare.net. Recuperado el 30 de octubre de 2023, de <https://es.slideshare.net/jaimeccanto/diapositivas-sobre-redes>
- [55]. Semestre, P. (s/f). *Boletín Estadístico en Telecomunicaciones*. Gob.bo. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de https://www.att.gob.bo/sites/default/files/archivos_listados_pdf/2022-11-11/Bolet%C3%ADn%20Estado%20de%20Situaci%C3%B3n%20de%20las%20Telecomunicaciones%20primer%20semestre%202022.pdf

- [56]. *Infraestructura de Telecomunicaciones y TIC en BOLIVIA*. (2016, diciembre). internetbolivia.org. Recuperado 3 de abril de 2023, de <https://internetbolivia.org/wp-content/uploads/2017/05/Campero-merged.pdf>
- [57]. Wikipedia contributors. (s/f). *HomePlug*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=HomePlug&oldid=147816141>

Vito Santos Alanoca Laura

gf-vito@hotmail.com

73556560



2024-TTES-553-D-1

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-123-D/2024
La Paz, 05 de junio de 2024**

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **29 de mayo de 2024** vía On-Line, por **VITO SANTOS ALANOCA LAURA** con **C.I. N° 5472081 LP**, con número de trámite **DA 124-DIG/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"Provisión de Servicios de Internet a través de Redes HFC, con Tecnología EoC Aplicación: Cooperativa de Telecomunicaciones COTEL R.L."**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO:

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*

Que, el Decreto Supremo, N° 4218 del 14 de abril de 2020, regula el teletrabajo como una modalidad especial de prestación de servicios caracterizada por la utilización de Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC, en los sectores públicos y privados, estableciendo a través



de su Artículo 12 que "con el objeto de implementar y, promover el teletrabajo, las entidades públicas, deben desarrollar e implementar una estrategia de digitalización para la atención de trámites y servicios en línea en el marco del Plan de Implementación del Gobierno Electrónico ...".

Que, mediante Resolución Administrativa N° 14/2020 del 22 de abril de 2020, el Director General Ejecutivo del SENAPI, Resuelve: "... Aprobar el Reglamento para trámites On-Line de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos del Servicio Nacional de Propiedad Intelectual ..."

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley N° 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO:

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas.

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: "**Provisión de Servicios de Internet a través de Redes HFC, con Tecnología EoC Aplicación: Cooperativa de Telecomunicaciones COTEL R.L.**" a favor del autor y titular: **VITO SANTOS ALANOCA LAURA** con C.I. N° **5472081 LP** bajo el seudónimo **ALVI**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

CASA/Im

Firmado Digitalmente por:

Servicio Nacional de Propiedad Intelectual - SENAPI
CARLOS ALBERTO SORUCO ARROYO
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
LA PAZ - BOLIVIA



Firma:



ff8Dy3Cb1BdF2F

PARA LA VALIDACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO INGRESAR A LA PÁGINA WEB www.senapi.gob.bo/verificacion Y COLOCAR CÓDIGO DE VERIFICACIÓN O ESCANEAR CÓDIGO QR.

