

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA



TESIS

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS
EN EL MARCO REGULATORIO DE ZONAS MONUMENTALES
DEL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. ABRAHAM CHOQUE ARAMBURU

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

ASESOR:

M. Sc. JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA

CUSCO - PERU

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS EN EL MARCO REGULADORIO DE ZONAS MONUMENTALES DEL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO

presentado por: ABRAHAM CHOQUE ARAMBURU con DNI Nro.: 70599905 presentado por: con DNI Nro.: para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRÓNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 09 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 28 de NOVIEMBRE de 2024


Firma
Post firma JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA
Nro. de DNI 42348906
ORCID del Asesor 0000-0003-2658-5492

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259 : 41 02 89 088

Abraham Choque Aramburu

REV_Final_CHOQUE_ARAMBURU.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:410289088

Fecha de entrega

28 nov 2024, 9:01 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

28 nov 2024, 9:18 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

REV_Final_CHOQUE_ARAMBURU.pdf

Tamaño de archivo

32.9 MB

334 Páginas

76,794 Palabras

426,848 Caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 9 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

*A mi padre, Abraham Choque Cabrera,
este logro también te pertenece.
Con gratitud y aprecio.*

*A la ciudad de Cusco,
cuya riqueza histórica y cultural ha sido
la inspiración de este trabajo.
Por un progreso tecnológico que respete
nuestro legado.*

Agradecimientos

Quisiera expresar mi sincera gratitud a todas las personas e instituciones que han contribuido significativamente a la realización de esta tesis.

A mi madre, Celia Aramburú, y a mi padre, Abraham Choque Cabrera, por su inquebrantable apoyo a lo largo de mis estudios, así como a mi hermana, la ingeniera Yndhyra Beth, cuyo respaldo ha sido fundamental en toda mi vida académica.

Al Laboratorio de Investigación e Innovación en Sistemas de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (LIISTTI) por proporcionar los recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación. Mi reconocimiento se extiende también al Centro de Investigación en Telecomunicaciones Rurales (CEDITER), donde se cimentaron las bases de mi aprendizaje en este campo.

A mi asesor, el ingeniero Jorge Luis Arizaca Cusicuna, por su guía experta y constante apoyo a lo largo de este proceso. También, al ingeniero Alexander Palomino, por su valiosa orientación y enseñanzas, y a los ingenieros Fernando Tagle, Jon Milton y Anghela Nieves, por sus importantes aportes y colaboración en diversos momentos del proyecto.

Al doctor Alan Álvarez Béjar, cuyos consejos y orientación han sido un pilar de fortaleza y crecimiento personal a lo largo de estos años.

Finalmente, quisiera expresar mi especial gratitud a la ingeniera Claudia Suárez, cuyo apoyo constante y compañía han sido esenciales durante las etapas más avanzadas de mi carrera.

Cada uno de ustedes ha sido crucial en mi desarrollo profesional y personal. Gracias por su confianza y motivación.

Resumen

Esta tesis desarrolla un diseño de ingeniería para el despliegue de redes ópticas en el Centro Histórico del Cusco, resolviendo desafíos asociados a las normativas, restricciones estructurales y operativas propias de zonas monumentales. Ante la falta de modelos de diseño específicos para estos entornos, se propone una solución innovadora que integra tecnologías avanzadas y metodologías de bajo impacto. El análisis inicial se enfocó en evaluar la infraestructura de telecomunicaciones existente, identificando sus capacidades y limitaciones técnicas dentro del marco normativo. A través de un estudio comparativo de métodos de despliegue, se seleccionaron técnicas como microcanalización y redes subterráneas, priorizando la optimización de recursos y la preservación del entorno físico. La arquitectura de red diseñada se basa en el estándar ITU-T L.155, garantizando alta eficiencia y fiabilidad operativa. La validación del diseño, realizada mediante simulaciones computacionales y cálculos teóricos, confirmó su robustez bajo distintos escenarios. Indicadores como el factor Q superior a 10 y la potencia óptica recibida reflejan un desempeño excepcional en términos de calidad de señal y estabilidad del sistema. Esta investigación representa una contribución significativa al campo de la ingeniería electrónica, al proponer un modelo replicable para el despliegue de redes ópticas en entornos complejos. Su enfoque combina rigor técnico, cumplimiento normativo e innovación tecnológica, posicionándose como una referencia para el diseño de infraestructuras avanzadas en áreas patrimoniales.

Palabras clave: Conservación patrimonial, recomendación ITU-T L.155, redes ópticas.

Abstract

This thesis presents an engineering design for deploying optical networks in the Historic Center of Cusco (CHC), addressing challenges related to regulatory, structural, and operational constraints specific to monumental zones. Given the absence of tailored design models for such contexts, an innovative solution is proposed that integrates advanced technologies and low-impact methodologies. The study begins with an in-depth analysis of the existing telecommunications infrastructure, identifying its technical capabilities and limitations within the current regulatory framework. A comparative evaluation of deployment methods led to the selection of techniques such as micro-trenching and underground networks, prioritizing resource optimization and the preservation of the physical and architectural environment. The proposed network architecture is based on the ITU-T L.155 standard, ensuring high operational efficiency and reliability. The design was validated through computational simulations and theoretical analyses, demonstrating robustness across various scenarios. Key performance indicators, including a Q-factor above 10 and consistent optical power levels, confirmed the system's exceptional signal quality and stability. This research makes a significant contribution to the field of electronic engineering by proposing a replicable model for optical network deployment in complex environments. The approach combines technical precision, regulatory compliance, and innovative technology to establish a framework for designing advanced infrastructures in heritage zones.

Index Terms: Heritage preservation, ITU-T Recommendation L.155, optical networks.

Índice general

Lista de Cuadros	XVIII
Lista de Figuras	XXIII
1. Generalidades	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Descripción del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	8
1.1.3. Problema general	8
1.1.4. Problemas específicos	8
1.1.5. Objetivos	9
1.1.5.1. Objetivo general	9
1.1.5.2. Objetivos específicos	9
1.2. Justificación	10
1.2.1. Justificación social	10
1.2.2. Justificación práctica	11
1.2.3. Justificación técnica	11
1.2.4. Justificación legal	12
1.3. Alcance	14
1.4. Limitaciones	15
1.5. Variables	15

1.6.	Indicadores	15
1.7.	Metodología	16
1.7.1.	Tipo y diseño de metodología	16
1.7.2.	Desarrollo del proyecto	17
1.8.	Antecedentes de la tesis	19
2.	Marco teórico	22
2.1.	Fundamentos teóricos	22
2.1.1.	Índice de refracción	22
2.1.2.	Ángulo de aceptación, θ	23
2.1.3.	Frecuencia normalizada	23
2.1.4.	Fibra óptica	24
2.1.5.	Estructura física de la fibra óptica	24
2.1.6.	Cable de fibra óptica	25
2.1.7.	Ducto de cable de fibra óptica	26
2.1.7.1.	Proporción de llenado o <i>fill ratio</i>	26
2.1.8.	Tipos de fibra óptica	27
2.1.8.1.	Por el índice de refracción del núcleo	27
2.1.8.2.	Por el comportamiento de la propagación	28
2.1.8.3.	Tipos de fibra óptica según el material	29
2.1.8.4.	Tipos de fibra óptica según la composición	29
2.1.9.	Atenuación	30
2.1.9.1.	Atenuación intrínseca	30
2.1.9.2.	Atenuación extrínseca	30
2.1.10.	Sistemas de telecomunicaciones basados en fibra óptica	31
2.1.11.	Redes de comunicaciones ópticas	34
2.1.12.	Topología	35

2.1.12.1.	Topología punto a punto	35
2.1.12.2.	Topología punto-multipunto	35
2.1.13.	Aplicaciones de topología en redes de distribución	37
2.1.14.	Probabilidad de error	39
2.1.15.	Diagrama de ojo	40
2.1.16.	Factores de diseño más relevantes	41
2.1.16.1.	Balance de potencia	41
2.1.17.	FTTx	43
2.1.18.	Redes ópticas pasivas	45
2.2.	Marco teórico normativo	47
2.2.1.	Marco legal y constitucional para las iniciativas de ley	47
2.2.2.	Estructura jerárquica normativa peruana	48
2.2.3.	Desarrollo de normativas técnicas	49
2.2.3.1.	Fundamentos de la formulación de normativas técnicas	49
2.2.3.2.	Criterios para la estructuración del contenido legal	50
2.2.3.3.	Atributos del contenido normativo	51
2.2.4.	Glosario normativo	51
2.2.5.	Categorización y definición de los servicios de telecomunicaciones en el Perú	55
2.2.5.1.	Servicios de portadores	56
2.2.5.2.	Teleservicios	57
2.2.5.3.	Servicios de difusión	60
2.2.5.4.	Servicios de valor añadido	62
3.	Análisis del marco regulatorio	64
3.1.	Estudio de la situación actual de las telecomunicaciones de fibra óptica del Centro Histórico del Cusco (CHC)	65
3.1.1.	Servicios de telecomunicaciones en el CHC	65

3.1.2.	Infraestructura de los servicios que usan fibra óptica	66
3.1.3.	Situación patrimonial	73
3.1.4.	Proyecciones y perspectivas futuras	77
3.2.	Análisis del marco regulatorio nacional	79
3.2.1.	Análisis del marco regulatorio nacional en infraestructura de telecomunicaciones	79
3.2.1.1.	Reglamento nacional de edificaciones	79
3.2.1.2.	Código nacional de electricidad suministro	82
3.2.1.3.	Ley N° 29022 ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones.	84
3.2.1.4.	Normas adicionales nacionales en telecomunicaciones	85
3.2.2.	Análisis del marco regulatorio nacional en reservación patrimonial	86
3.2.2.1.	Ley general del patrimonio cultural de la nación	86
3.2.2.2.	Reglamento plan maestro del CHC	89
3.2.2.3.	Ordenanza municipal N° 033-2011 - MPC	95
3.2.2.4.	Normas adicionales nacionales en preservación patrimonial	98
3.3.	Análisis del marco regulatorio internacional	100
3.3.1.	Análisis del marco regulatorio internacional en infraestructura de telecomunicaciones	100
3.3.1.1.	<i>International Telecommunication Union (ITU)-T</i>	100
3.3.1.2.	Normas ISO/IEC	103
3.3.1.3.	Normativas adicionales internacionales en telecomunicaciones	104
3.3.2.	Análisis del marco regulatorio internacional en preservación patrimonial	105
3.3.2.1.	Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural	105
3.3.2.2.	Carta de Venecia, 1964	106

3.3.2.3.	Recomendación sobre la conservación y gestión de centros históricos, inscritos en la lista del patrimonio mundial - <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> (UNESCO) 2007	107
3.3.2.4.	Carta de Atenas 1931	108
3.3.2.5.	Normas de Quito 1967	109
3.3.2.6.	Carta de Washington carta internacional para la conservación de ciudades históricas 1987	110
3.3.2.7.	Normativas adicionales internacionales en preservación patrimonial	111
3.4.	Propuesta del perfil normativo	112
3.4.1.	Consideraciones iniciales	112
3.4.2.	Síntesis del análisis del marco regulatorio y optimización de normativas	115
3.4.3.	Propuesta de estructura normativa	120
3.4.3.1.	Objetivo principal planteado	123
3.4.3.2.	Alcance de la propuesta	123
3.4.3.3.	Funciones de la propuesta	123
3.4.3.4.	Especificaciones técnicas	125
3.4.3.5.	Características de los compromisos de los operadores	129
3.4.3.6.	Modificación y adaptación de infraestructuras existentes para la continuidad de los servicios	129
3.4.3.7.	Plan técnico	130
3.4.4.	Lineamientos esenciales	130
4.	Estudio comparativo de métodos de despliegue de redes ópticas	132
4.1.	Fundamentos del estudio	132
4.2.	Metodología de comparación	133
4.3.	Análisis comparativo	142
4.3.1.	Profundidad y sección transversal	142

4.3.2.	Requisitos preliminares	144
4.3.2.1.	Logística	144
4.3.2.2.	Ruta predefinida de la fibra	144
4.3.2.3.	Condición de superficie	145
4.3.2.4.	Condición de subsuelo	145
4.3.2.5.	Identificación de servicios	145
4.3.3.	Proceso constructivo	147
4.3.3.1.	Corte y excavación	147
4.3.3.2.	Limpieza	150
4.3.3.3.	Resanado	151
4.3.4.	Tendido de la infraestructura	153
4.3.4.1.	Tendido del cable	153
4.3.4.2.	Protección del cable	154
4.3.4.3.	Empalme del cable	154
4.3.5.	Mantenimiento	156
4.3.6.	Síntesis comparativa de métodos de despliegue de redes ópticas . . .	158
4.4.	Compatibilidad de infraestructura con ITU-T L.155	159
4.4.1.	Elección de la fibra	159
4.4.2.	Elección del ducto	161
4.4.3.	Configuración de ductos	163
4.4.3.1.	Configuración en la red principal	163
4.4.3.2.	Configuración en la red secundaria o de distribución	165
4.4.4.	Cámaras	167
4.5.	Síntesis de resultados del capítulo	170
5.	Diseño de la red óptica	171
5.1.	Consideraciones iniciales	172

5.2.	Zona de interés	173
5.3.	Diseño de la red principal	178
5.3.1.	Implementación de la <i>optical line terminal</i> (OLT)	178
5.3.2.	Configuración de puntos de empalme para cobertura integral en el CHC	179
5.3.3.	Topología de la red principal	181
5.3.4.	Equipos para la red principal	183
5.4.	Diseño de la red de distribución	184
5.4.1.	Topología de la red de distribución	187
5.4.1.1.	Etapa inicial de conexión fundamental	187
5.4.1.2.	Etapa final de optimización de cobertura y distribución	188
5.4.2.	Equipos para la red de distribución	197
5.5.	Diseño de la estructura de soporte para la red óptica	198
5.5.1.	Canalización de la red	198
5.5.2.	Despliegue de cámaras subterránea de la red	200
5.5.2.1.	Criterios de planificación urbana y conservación patrimo- nial para la instalación de cámaras subterráneas	200
5.5.2.2.	Caracterización de las cámaras	202
5.5.3.	Diseño final para el soporte de la red óptica	204
5.6.	Diagrama de instalación	213
5.6.1.	Diagrama general de canalizaciones	213
5.6.2.	Diagrama general de las cámaras	214
5.6.3.	Diagrama específico de canalizaciones	214
5.6.3.1.	Diagrama de instalación canalización tipo 1	214
5.6.3.2.	Diagrama de instalación canalización tipo 2	215
5.6.3.3.	Diagrama de instalación canalización tipo 3	215
5.6.3.4.	Diagrama de instalación canalización tipo 4	216

5.6.4.	Diagrama específico de instalación de las cámaras	216
5.6.4.1.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 0</i>	216
5.6.4.2.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 1</i>	217
5.6.4.3.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 2</i>	217
5.6.4.4.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 3</i>	218
5.6.4.5.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 4</i>	218
5.6.4.6.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 7</i>	219
5.6.4.7.	Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 8</i>	219
6.	Costos y presupuestos	220
6.1.	Costos equipamiento de la red	221
6.1.1.	Costos equipamiento de la red para la red principal o troncal	221
6.1.2.	Costos equipamiento de la red de distribución	221
6.1.3.	Costos adicionales equipamiento de la red	223
6.2.	Costos estructura de la red	224
6.2.1.	Costos estructura de la red en cámaras y ductos	224
6.2.2.	Costos adicionales en estructura de la red	224
6.3.	Presupuesto para la implementación	225
6.3.1.	Presupuesto para la implementación proceso constructivo	225
6.3.2.	Presupuesto de instalación	226
6.4.	Resumen de costos y presupuesto total del proyecto	227
6.5.	Costos de la realización de la tesis	229
7.	Validación de resultados	230
7.1.	Bases para la validación	231
7.2.	Diagrama unifilar de la red	232
7.2.1.	Presentación del diagrama	233

7.3.	Estimación de atenuaciones	241
7.3.1.	Estimación de atenuaciones en puntos extremos de la red	243
7.3.1.1.	Caso 1 estimación punto más cercano de la red	243
7.3.1.2.	Caso 2 estimación punto más lejano de la red	247
7.4.	Cálculo de potencias	250
7.5.	Simulación	253
7.5.1.	Modelado y configuración de la simulación	253
7.5.1.1.	Transmisor del señal óptica	253
7.5.1.2.	Receptor de la señal óptica	254
7.5.1.3.	Elementos de la simulación	257
7.5.1.4.	Configuración de la consola	258
7.5.2.	Implementación de la simulación	259
7.5.2.1.	Caso 1 simulación punto más cercano de la red	259
7.5.2.2.	Caso 2 simulación punto más lejano de la red	260
7.5.3.	Resultados simulados	263
7.5.3.1.	Resultados caso 1 simulación punto más cercano de la red	263
7.5.3.2.	Resultados caso 2 simulación punto más lejano de la red .	270
7.6.	Resumen y validación final de resultados	276
7.6.1.	Correlación de potencias obtenidas para validación del enlace en el punto más cercano de la red	276
7.6.2.	Correlación de potencias obtenidas para validación del enlace en el punto más lejano de la red	277
	Conclusiones	278
	Recomendaciones	279
	Bibliografía	291

Lista de Cuadros

3.1. Análisis de disponibilidad de servicios en fibra óptica parte 1	69
3.2. Análisis de disponibilidad de servicios en fibra óptica parte 2	70
3.3. Alcance del marco regulatorio para los servicios ópticos en el CHC	72
3.4. N° de propiedades registradas como patrimonio monumental nacional	73
3.5. Número de lotes por categoría de catalogación en el CHC (AE-I)	73
3.6. Resumen del marco regulatorio nacional	113
3.7. Resumen del marco regulatorio internacional	114
3.8. Normativas y propuestas parte 1	116
3.9. Normativas y propuestas parte 1	117
3.10. Normativas y propuestas parte 1	118
3.11. Normativas y propuestas parte 1	119
4.1. Comparativa fibra óptica vs <i>free space optics</i> (FSO)	134
4.2. Cuadro comparativo canalización tradicional vs. microcanalización	138
4.3. Cuadro comparativo criterios de excavación	144
4.4. Comparación requisitos preliminares	146
4.5. Comparación corte y excavación	149
4.6. Comparación limpieza y succión de desechos	150
4.7. Comparación proceso constructivo de resane	152
4.8. Comparación tendido del cable	153

4.9. Comparación métodos de protección del cable	154
4.10. Comparación descripción método de empalme	154
4.11. Análisis comparativo sobre el mantenimiento	157
4.12. Síntesis elección de método de despliegue	158
4.13. Comparativa de cables de fibra óptica para compatibilidad con ITU L.155 [1]	160
4.14. Relación de ocupación ducto 10 mm <i>MiniXtend</i>	161
4.15. Relación de ocupación ducto 10 mm <i>MiniXtend HD</i>	161
4.16. Especificaciones del microducto	162
4.17. Comparativa de especificaciones de configuraciones	165
4.18. Cuadro comparativo cámaras subterráneas	168
4.19. Síntesis del capítulo	170
5.1. Distribución de unidades unifilares para la red óptica	180
5.2. Detalle de implementación de <i>fiber access terminal</i> (FAT)s y cajas de distribución por ubicación y conectividad, parte 1	185
5.3. Detalle de implementación de FATs y cajas de distribución por ubicación y conectividad, parte 2	186
5.4. Caracterización cámaras tipo <i>Bulk</i>	203
5.5. Análisis de compatibilidad de cámaras	204
5.6. Número de cámaras instaladas según criterios de diseño	212
6.1. Costos estimados de equipamiento de la red troncal	221
6.2. Costos estimados de equipamiento de la red de distribución	222
6.3. Costos estimados adicionales en el equipamiento de la red	223
6.4. Costos soporte de la estructura de red	224
6.5. Costos estimados adicionales en el soporte de la estructura de red	225
6.6. Presupuestos estimados proceso constructivo	226
6.7. Presupuesto de instalación	227

6.8. Costos estimados adicionales en el soporte de la estructura de red	228
6.9. Presupuesto tesis	229
7.1. Atenuación de componentes	242
7.2. Estimación de atenuaciones caso 1	246
7.3. Estimación de atenuaciones caso 2	249
7.4. Especificaciones de potencia y sensibilidad marco regulatorio internacional [2]	251
7.5. Validación de enlaces de la propuesta de diseño	252
7.6. Equivalencias de componentes en diseño de red y simulación	257
7.7. Equivalencias de equipos en diseño de red y simulación caso 1	259
7.8. Equivalencias de equipos en diseño de red y simulación caso 2	261
7.9. Parámetros de validación bajo el marco regulatorio internacional	263
7.10. Validación de resultados caso 1	276
7.11. Validación de resultados caso 2	277

Índice de figuras

1.1. Delimitación CHC [3]	14
2.1. Refracción ley de Snell	22
2.2. Ángulo cono de aceptación [4]	23
2.3. Estructura física de la fibra óptica [5]	24
2.4. Cables de fibra óptica: (a) construcción suelta en tubo, (b) fibra restringida, (c) fibras múltiples, (d) cable de sílice revestida de plástico [4]	25
2.5. Diagrama de proporción de llenado en ductos [6]	26
2.6. Esquema sistema de comunicación fibra óptica [7]	32
2.7. Diagrama de sistema de comunicaciones ópticas con etapas de enrutamiento intermedio y amplificación de señales [7]	33
2.8. Esquema de red óptica mundial con agrupación de longitudes de onda [7]	34
2.9. Esquema de una topología en bus cerrado [8]	35
2.10. Esquema de una topología en estrella [8]	36
2.11. Esquema de una topología en anillo [8]	36
2.12. Red de distribución: (a) topología en árbol para redes ópticas mediante <i>hubs</i> de distribución, (b) topología en bus [7]	37
2.13. Modificaciones topología en bus: (a) simple, (b) doble, (c) en bucle [7]	38
2.14. Combinaciones de bits enviadas para el registro de un diagrama de ojo [7]	40
2.15. Diagrama de ojo [7]	41
2.16. Diagrama de enlace de red con los componentes mecánicos principales [7]	43
2.17. Topología <i>fiber to the x</i> (FTTx) [9]	43

2.18. Longitud de onda <i>passive optical network</i> (PON) [9]	44
2.19. Enlaces FTTx [10]	45
2.20. Espectro NG-PON2 [11]	46
2.21. Pirámide de Hans Kelsen escenario peruano [12]	48
3.1. Catalogación CHC [3]	75
3.2. Grado de intervención CHC [3]	76
3.3. Crecimiento conexiones con fibra óptica [13]	78
3.4. Área restringida para la instalación de líneas aéreas [14]	83
3.5. Diseño de aleros con ductos para instalaciones en construcciones nuevas [3]	91
3.6. Microzanjas ITU-T L.155 [15]	102
3.7. Esquema de la propuesta de estructura normativa parte 1	121
3.8. Esquema de la propuesta de estructura normativa parte 2	122
4.1. Distribución de conexiones fijas por tecnología [16]	135
4.2. Canalización tradicional [17]	136
4.3. Microcanalizado [18]	137
4.4. Plaza de armas análisis de georadar: (a) radar con antena de 600 MHz profundidad de 0.5 a 0.6m; (b) radar con antena de 200 MHz profundidad de 1.3 a 1.6m [19]	143
4.5. Corte de pavimento para microcanalizado [18]	148
4.6. Mantenimiento y reparación de un cable [20]	156
4.7. Zangeo activo técnica ITU-T L.155[15]	158
4.8. Instalación microductos configuración 1 x 4 [18]	163
4.9. Diferentes configuraciones [21]	164
4.10. <i>Future Flex</i> configuración 8 x 1 [22]	166
4.11. Soplado de fibra en cámara instalada [23]	169
5.1. Sectorización para la gestión del CHC [3]	174

5.2. Plano de macromanzanas del CHC [3]	176
5.3. Plano catastral CHC [24]	177
5.4. Ejemplo de distribución de unidades unifilares de la tabla 5.1 [3]	181
5.5. Plano intervenciones arqueológicas [3]	182
5.6. Diseño de la red troncal	183
5.7. Plano de conexión inicial de la red red de distribución, disposición de ubicación de cajas de distribución	188
5.8. Plano de la red de distribución con cobertura y distribución optimizada	189
5.9. Diseño de la red sector SG-1	190
5.10. Diseño de la red sector SG-2	191
5.11. Diseño de la red sector SG-3	192
5.12. Diseño de la red sector SG-4	193
5.13. Diseño de la red sector SG-5	194
5.14. Diseño de la red sector SG-6	195
5.15. Diseño de la red sector SG-7	196
5.16. Distribución de múltiples fibras ópticas en la vía	199
5.17. Esquema de canalización única para múltiples fibras ópticas	199
5.18. Plano accesibilidad CHC, plan de desarrollo urbano [3]	201
5.19. Plano anillo vial CHC, plan de desarrollo urbano [3]	202
5.20. Diseño estructura red óptica	205
5.21. Diseño estructura red óptica sector SG-1	206
5.22. Diseño estructura red óptica sector SG-2	207
5.23. Diseño estructura red óptica sector SG-3	208
5.24. Diseño estructura red óptica sector SG-4	209
5.25. Diseño estructura red óptica sector SG-5	210
5.26. Diseño estructura red óptica sector SG-6	211
5.27. Diseño estructura red óptica sector SG-7	212

5.28. Diagrama general de los ductos	213
5.29. Diagrama general de las cámaras	214
5.30. Diagrama de instalación canalización tipo 1	214
5.31. Diagrama de instalación canalización tipo 2	215
5.32. Diagrama de instalación canalización tipo 2	215
5.33. Diagrama de instalación canalización tipo 4	216
5.34. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 0</i>	216
5.35. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 1</i>	217
5.36. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 2</i>	217
5.37. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 3</i>	218
5.38. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 4</i>	218
5.39. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 7</i>	219
5.40. Diagrama de instalación cámara tipo <i>Bulk 8</i>	219
7.1. Ejemplo de codificación de FAT	232
7.2. Diagrama unifilar mufa M1 y mufa M2	233
7.3. Imagen detallada de mufa M1 con <i>cluster A1</i>	234
7.4. Imagen detallada de mufa M2 con <i>cluster B1</i>	234
7.5. Diagrama unifilar mufa M3 y mufa M4	235
7.6. Imagen detallada de mufa M3 con <i>cluster C1</i>	236
7.7. Imagen detallada de mufa M4 con <i>cluster D1</i>	236
7.8. Diagrama unifilar mufa M5 y mufa M6	237
7.9. Imagen detallada de mufa M5 con <i>cluster E1</i>	238
7.10. Imagen detallada de mufa M6 con <i>cluster F1</i>	238
7.11. Diagrama unifilar mufa 7	239
7.12. Imagen detallada de mufa M7 con <i>cluster G1</i>	240
7.13. Plano ubicación topológica del punto más cercano	243

7.14. Mapeo unifilar de la FAT más cercana	244
7.15. Longitud troncal tramo OLT - mufa 7 y caja de distribución G1	245
7.16. Longitud troncal tramo OLT - mufa 7 y caja de distribución G1	246
7.17. Plano ubicación topológica del punto más lejano	247
7.18. Mapeo unifilar de la FAT más lejana	248
7.19. Longitud troncal tramo OLT - mufa 7 y caja de distribución G1	249
7.20. Simulación del emisor [25]	253
7.21. Configuración general del emisor simulado [25]	254
7.22. Simulación del receptor [25]	255
7.23. Configuración general del receptor simulado [25]	255
7.24. Configuración general del entorno de simulación [25]	258
7.25. Simulación enlace punto más cercano	260
7.26. Simulación enlace punto más lejano	262
7.27. Caso 1 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT B+ 1.50 dBm [25]	264
7.28. Caso 1 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT B+ 5.50 dBm [25]	265
7.29. Caso 1 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT B+ 3.25 dBm [25]	266
7.30. Caso 1 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT C+ 3.00 dBm [25]	267
7.31. Caso 1 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT C+ 7.00 dBm [25]	268
7.32. Caso 1 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT C+ 5.00 dBm [25]	269
7.33. Caso 2 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT B+ 1.50 dBm [25]	270
7.34. Caso 2 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT B+ 5.00 dBm [25]	271
7.35. Caso 2 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT B+ 3.25 dBm [25]	272
7.36. Caso 2 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT C+ 3.00 dBm [25]	273
7.37. Caso 2 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT C+ 7.00 dBm [25]	274
7.38. Caso 2 diagrama de ojo y medición de <i>power meter</i> OLT C+ 5.00 dBm [25]	275

Acrónimos

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BER	<i>bit error rate</i>
CATV	<i>community antenna television</i>
CCTV	circuito cerrado de televisión
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
CHC	Centro Histórico del Cusco
DDCC	Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>
EN	<i>European norm</i>
EPS	empresas prestadoras de servicios
FAT	<i>fiber access terminal</i>
FOA	<i>Fiber Optic Association</i>
FSO	<i>free space optics</i>
FTTH	<i>fiber to the Home</i>
FTTx	<i>fiber to the x</i>
GPON	<i>gigabit capable passive optical network</i>
HDPE	<i>high density polyethylene</i>
ICOMOS	<i>International Council on Monuments and Sites</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
INC	Instituto Nacional de Cultura
ISI	<i>inter symbol interference</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LAN	<i>local area network</i>
MPC	Municipalidad Provincial del Cusco
NECA	<i>National Electrical Contractors Association</i>

ODN	<i>optical distribution network</i>
OLT	<i>optical line terminal</i>
ONT	<i>optical network terminal</i>
ONU	<i>optical network unit</i>
OSIPTEL	Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones
PON	<i>passive optical network</i>
PVC	<i>polyvinyl chloride</i>
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UE	Unión Europea
UIT	unidad impositiva tributaria
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
WAN	<i>wide area network</i>
WDM	<i>wavelength division multiplexing</i>
XGPON	<i>10 gigabit capable passive optical network</i>

Capítulo 1

Generalidades

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del problema

En la era digital actual, la conectividad a internet en el mundo ha trascendido su rol como mera herramienta para determinadas actividades, para convertirse en uno de los pilares esenciales que asisten a la vida cotidiana y profesional. Es menester para todo tipo de actividades del ser humano, desde cosas fundamentales como el acceso a noticias y redes sociales, pasando por entidades como la educación, salud, comercio y entretenimiento; hasta trabajos donde se requiera su uso de forma sofisticada donde el grado de profundidad y complejidad sea considerable. Por todo lo expuesto, dada su omnipresencia y su papel vital en innumerables aspectos de vida moderna, el acceso a la red de datos se consolida como una necesidad básica en la sociedad contemporánea [26].

En la evaluación de este objetivo, emergen diversas incógnitas y cuestiones fundamentales. Entre estas, se destacan la selección del método de despliegue de infraestructura más adecuado, que debe ser acorde con las características específicas del entorno, incluyendo factores geográficos, políticos, culturales, patrimoniales, socio-económicos, ambientales y tecnológicos. Además, la variedad de estructuras de red requieren análisis detallado.

Otros aspectos críticos incluyen la conformidad con las normativas vigentes, lo que es esencial para garantizar un desarrollo sostenible y responsable de la infraestructura de telecomunicaciones a nivel global.

En este contexto, las redes ópticas satisfacen y superan los estándares mínimos esperados para una conexión de alta calidad, representando una opción estratégica y eficiente para el despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones.

Mientras las redes ópticas ofrecen numerosos beneficios a nivel global, su impacto y potencial en América Latina merece una atención especial debido a las características únicas y desafíos de la región puesto que no solo es una cuestión tecnológica, sino también cultural y económica, reflejando las necesidades y aspiraciones de una región diversa y en desarrollo.

América Latina enfrenta desafíos únicos en la implementación de redes ópticas, la situación en Perú ofrece un ejemplo claro de cómo la creciente demanda de internet fijo conlleva retos específicos en el desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones. Según el Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), el país ha experimentado un aumento significativo en las conexiones de internet fijo, con un crecimiento del 5.1 % en el primer semestre de 2023 y 15.17 % para el primer semestre del 2024. Este incremento, que ha llevado a más de 3.6 millones de conexiones, no solo enfatiza la importancia de un acceso confiable a internet para millones de peruanos, sino que también subraya la necesidad de una infraestructura robusta y bien planificada [27] y [13].

Con la fibra óptica emergiendo como la tecnología predominante en el servicio de internet fijo, el enfoque en la eficiencia y capacidad de adaptación de la infraestructura es más crucial que nunca. Sin embargo, este avance tecnológico no está exento de desafíos. La elección del método de despliegue adecuado y la gestión del creciente cableado son aspectos fundamentales, especialmente en áreas de significativa densidad poblacional y relevancia cultural. En Perú, este desafío se ve intensificado en zonas con un rico patrimonio histórico y cultural, donde la modernización de la infraestructura debe equilibrarse cuidadosamente con la conservación del legado y la identidad del lugar.

En el contexto peruano, la creciente demanda de conectividad a internet, reflejada en el aumento de las conexiones de internet fijo y el uso predominante de la fibra óptica, plantea desafíos únicos en zonas de relevancia histórica y cultural. En particular, en Cusco, y más específicamente en su centro histórico, la situación adquiere una dimensión crítica. Aquí, el delicado equilibrio entre modernización y preservación cultural está bajo una presión cada vez mayor, exacerbada por cambios significativos en la dinámica social y residencial. El progresivo desplazamiento de los residentes permanentes, sustituidos por un flujo constante de turismo y actividad comercial, ha transformado el tejido social y residencial de esta ciudad histórica. Este cambio ha impulsado el desarrollo de una infraestructura de telecomunicaciones apresurada y mal planificada, la cual, lejos de ser un símbolo de progreso, se ha convertido en una amenaza seria para el invaluable patrimonio cultural de Cusco.

El **CHC**, reconocido por su inestimable valor cultural y arqueológico, enfrenta actualmente un desafío crítico: El crecimiento desordenado de la infraestructura de telecomunicaciones de fibra óptica. Este patrimonio de la ciudad, famosa por su armoniosa integración de la herencia inca y colonial, se ve comprometida por la invasiva presencia de cables a lo largo de las fachadas, la imposición de postes de concreto armado desproporcionados y el enmarañado cruce de redes de cableado, creando un panorama desordenado y un deterioro palpable de su patrimonio. Esta problemática se ve exacerbada por la dinámica de tugurización y la disminución del valor patrimonial en la zona. Se ha identificado que sólo el 20% de las manzanas registradas contienen más del 50% de edificaciones con valor patrimonial, una reducción alarmante desde estudios previos que señalaban más del 50%. Además, más del 50% de los lotes matrices del **CHC** se encuentran en condiciones de tugurización, afectando a cerca del 75% de la población residente [3].

Integrar infraestructura de telecomunicaciones de fibra óptica con tecnología moderna en un lugar de gran valor histórico y cultural presenta numerosos desafíos singulares como la presencia de cableado aéreo de fibra óptica existente ya que hasta el momento la cantidad es significativa, esto sumado al tendido eléctrico con sus subestaciones y transformadores, a menudo adosados a las fachadas o suspendidas en postes contribuye a una contaminación visual y tugurización del entorno, desdibujando así la identidad de este patrimonio mundial.

En infraestructura de telecomunicaciones existente por ducto, si bien un 60% de las calles cuentan con este medio subterráneo, la exclusividad en su uso por parte de compañías de telecomunicaciones introduce barreras burocráticas adicionales para otras empresas que buscan implementar sus servicios, limitando la competencia y la eficiencia.

El uso de otro tipo de infraestructura existentes, como el sistema de alcantarillado, evidencia una solución poco viable a largo plazo, puesto que no existe una red independiente en el CHC lo que conlleva a que las aguas pluviales y servidas discurren a los mismos colectores, esto sumado a las frecuentes lluvias que afectan a la región amenazan con inundaciones y daños a las posibles instalaciones resultado poco factible su mantenimiento y su puesta en marcha. Además, la delicadeza arqueológica del CHC considera la posibilidad de hallazgos arqueológicos bajo prácticamente cada piedra haciendo que la excavación para la instalación de ductos independientes sea una apuesta arriesgada y, potencialmente destructiva.

Por todo lo expuesto, el CHC se encuentra en una encrucijada crítica, donde la creciente necesidad de una infraestructura de telecomunicaciones moderna y eficiente, impulsada por la demanda global de conexión a la red de datos, choca directamente con la imperiosa necesidad de preservar su rica herencia cultural y arqueológica. Esta problemática multifacética, que incluye desafíos técnicos y burocráticos, así como preocupaciones sociales y de conservación patrimonial, destaca la necesidad imperativa de adoptar un enfoque holístico y meticulosamente considerado. Una de las causas primordiales del crecimiento desordenado de la infraestructura de telecomunicaciones en el CHC es la falta de regulaciones específicas y adaptadas para el tendido de fibra óptica en zonas monumentales. A pesar de la existencia de políticas generales para la conservación del patrimonio, parece haber un vacío en cuanto a directrices concretas que aborden los desafíos únicos de estas áreas sensibles desde el punto de vista arqueológico y cultural. Esta ausencia de normativas especializadas permite prácticas de instalación que no consideran adecuadamente la conservación del patrimonio ni la estética urbana. Además, la dinámica actual sugiere que incluso cuando hay normativas, su aplicación o cumplimiento puede ser inadecuado. Esto se evidencia en la presencia generalizada de cables y equipos de telecomunicaciones que, claramente, alteran el carácter y la estética.

Además de la falta de regulaciones específicas y la gestión problemática de la infraestructura existente, otra causa importante del crecimiento desordenado de la infraestructura de telecomunicaciones en el **CHC** es el incremento vertiginoso de la actividad turística y la transformación del uso del suelo. La constante conversión de inmuebles en servicios de hospedaje y centros educativos ha desplazado a la población residente y transformado significativamente el uso tradicional de viviendas. Por ejemplo, la adición anual de alrededor de 1000 camas para hospedaje indica que aproximadamente 10 inmuebles al año se convierten en hostales, lo que refleja una presión creciente sobre la infraestructura existente, incluida la de telecomunicaciones. Adicionalmente, zonas como Arcopata y Nueva Alta en el **CHC**, caracterizadas por altos niveles de densidad poblacional y hacinamiento, enfrentan desafíos particulares en cuanto a la infraestructura de telecomunicaciones.

La densidad promedio en el **CHC** es de 146 hab./ha, con áreas que alcanzan hasta 300 hab./ha, lo que implica una mayor demanda de servicios, incluido el acceso a internet. Este aumento en la densidad poblacional y la transformación del espacio urbano para actividades comerciales y educativas, sin una planificación adecuada de la infraestructura de telecomunicaciones, contribuye significativamente al crecimiento desordenado y a la saturación de los sistemas de telecomunicaciones en el área [3].

La falta de valoración del patrimonio considera poco valuable la apreciación del valor histórico y cultural del **CHC** entre algunos sectores de la sociedad ha facilitado la implementación de infraestructuras de telecomunicaciones que no respetan el patrimonio. Esto incluye tanto a las autoridades como a los ciudadanos y a las empresas involucradas en la instalación y mantenimiento de estas infraestructuras.

Las consecuencias de la infraestructura de telecomunicaciones mal planificada y desordenada en el **CHC** son profundas y multifacéticas, impactando negativamente tanto el patrimonio cultural como la calidad de vida de sus habitantes y visitantes.

La presencia invasiva de infraestructuras como cables de fibra óptica y postes de concreto armado no solo constituye una intrusión física en un espacio que debería ser un bastión de conservación histórica y arquitectónica, sino que también contribuye a una creciente contaminación visual. Esta situación deteriora la experiencia turística y desdibuja la imagen del **CHC** como destino de renombre mundial, lo que podría tener consecuencias económicas adversas dada la importancia del turismo para la economía local.

Además, existe un daño potencial a los hallazgos arqueológicos y estructuras históricas, particularmente preocupante en una zona rica en patrimonio cultural. Las excavaciones para nuevas infraestructuras de telecomunicaciones podrían perturbar y dañar irreparablemente sitios arqueológicos subterráneos, resultando en una pérdida incalculable para el patrimonio del Cusco. Esta situación se ve agravada por la desconexión entre la comunidad local y su patrimonio cultural, donde la falta de identificación y apreciación conduce a acciones de deterioro y destrucción, exacerbadas por la falta de educación e información adecuada.

La infraestructura deficiente repercute directamente en la calidad del servicio de telecomunicaciones, lo que puede llevar a interrupciones y deficiencias en la conectividad. Esto no solo afecta a residentes y negocios, sino que también compromete servicios críticos como emergencias y seguridad, con implicaciones serias para el bienestar de la comunidad.

Por último, la saturación y la falta de planificación adecuada en la infraestructura de telecomunicaciones plantean desafíos en términos de mantenimiento y actualización, lo que puede provocar un ciclo continuo de deterioro y obsolescencia. Este panorama desalentador no solo afecta el presente, sino que también plantea preocupaciones serias para el futuro de la infraestructura en esta área patrimonial.

En respuesta a los retos identificados en el crecimiento desordenado de la infraestructura de telecomunicaciones en el **CHC**, esta investigación se enfoca inicialmente en un análisis de su marco regulatorio y en un estudio comparativo exhaustivo de los métodos de despliegue de redes ópticas.

El objetivo principal es identificar la mejor práctica y tecnología que se alinee tanto con las necesidades de conectividad moderna como con la preservación del patrimonio cultural y arqueológico de la zona. Este estudio comparativo abarcará diferentes técnicas y tecnologías de despliegue, evaluando su viabilidad, impacto visual y físico, y compatibilidad con el contexto histórico y arquitectónico del **CHC** en su marco regulatorio.

A partir de los resultados de este estudio, se desarrollará una propuesta de diseño de red óptica específicamente adaptada para el **CHC**. Este diseño buscará incorporar la metodología y tecnología más adecuada, priorizando soluciones que minimicen la intrusión visual y respeten la integridad arqueológica y cultural del área.

Entre las opciones a considerar se incluirán técnicas innovadoras como *microtrenching* o microcanalización y la implementación de redes subterráneas, donde sea factible, para reducir el impacto en la superficie y preservar el paisaje urbano.

Además, se contemplará la formulación de recomendaciones para la creación o modificación de políticas y regulaciones específicas para el tendido de fibra óptica en zonas patrimoniales. Estas recomendaciones estarán dirigidas a las autoridades competentes, con el fin de promover un enfoque de instalación que armonice la modernización tecnológica con la conservación del patrimonio.

Este trabajo culminará con la presentación de una propuesta de diseño de red óptica para el **CHC**, que servirá como guía para futuras implementaciones de infraestructura de telecomunicaciones en zonas de alto valor histórico y cultural. La propuesta no solo abordará los aspectos técnicos, sino que también se enfocará en la integración armónica de la tecnología en el contexto patrimonial, asegurando que el legado de Cusco se preserve mientras se avanza hacia una conectividad mejorada.

1.1.2. Formulación del problema

De acuerdo a lo anteriormente explicado se puede formular el problema general:

1.1.3. Problema general

Existe una carencia de modelos de diseño y despliegue de redes ópticas en el **CHC** que armonicen de manera efectiva las demandas de conectividad actuales con la preservación del patrimonio cultural y arquitectónico, tomando en cuenta las restricciones legales, técnicas y estéticas que caracterizan a esta zona histórica.

1.1.4. Problemas específicos

- Existe una limitada disponibilidad de análisis detallados sobre la infraestructura de telecomunicaciones cableadas actual en el marco regulatorio de zonas monumentales del **CHC**, lo cual restringe la comprensión plena de sus capacidades y limitaciones.
- Se observa una escasez de estudios comparativos sobre métodos de despliegue de redes ópticas que consideren el impacto urbanístico y estructural en el **CHC**.
- Se reconoce la necesidad de desarrollar un diseño viable de red de fibra óptica que responda a las necesidades y restricciones del **CHC**.
- Existe la necesidad de validación de la funcionalidad y eficacia de una red de fibra óptica mediante parámetros técnicos e indicadores de rendimiento para confirmar su viabilidad.

1.1.5. Objetivos

1.1.5.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de diseño para el despliegue de redes ópticas en el **CHC** dentro del marco regulatorio de zonas monumentales.

1.1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la infraestructura actual de redes cableadas en el marco regulatorio de zonas monumentales del **CHC**, para comprender sus capacidades, limitaciones y requisitos legales.
- Realizar un estudio comparativo y evaluación de los métodos de implementación de redes ópticas, para identificar y seleccionar aquellas técnicas que ofrezcan el menor impacto visual y estructural, respetando así la integridad del patrimonio del **CHC**.
- Diseñar una red de fibra óptica para el **CHC**, adaptada a las necesidades específicas y restricciones del área.
- Validar los resultados de la propuesta de diseño para una red de fibra óptica, asegurando su viabilidad a través de la evaluación de indicadores de rendimiento y parámetros técnicos mediante análisis teóricos complementado con simulaciones computacionales.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación social

El CHC enfrenta un desafío único debido al creciente desdoblamiento de residentes, impulsado por el auge indiscriminado de actividades comerciales y turísticas. Esta transformación ha llevado a una demanda cada vez mayor de conectividad a la red de datos, desafiando el limitado espacio físico disponible.

Actualmente, solo algunas empresas principales, dominan las troncales de redes existentes. Las restricciones en el alquiler de fibra óptica a otras empresas, por razones de mantenimiento, daños a infraestructuras propias y complicaciones burocráticas, han resultado en una mayoría de conexiones realizadas a través de fachadas, exacerbando la contaminación visual y el deterioro patrimonial. Este deterioro no solo afecta negativamente al turismo y la imagen pública, sino que también conlleva la pérdida del patrimonio intangible y la identidad cultural de los cusqueños. Un estudio detallado de los métodos de despliegue y una propuesta de diseño de redes ópticas se convierten en una necesidad imperiosa, ofreciendo soluciones de ingeniería fundamentales para futuras implementaciones. Un diseño óptimo de redes ópticas, que tenga en cuenta el hacinamiento y el crecimiento constante de actividades económicas y turísticas, facilitará la demanda de servicios de calidad por parte de los clientes, impactando positivamente en los negocios locales. Además, este diseño promoverá la preservación del patrimonio cultural y la identidad de Cusco, a la vez que respaldará el desarrollo de infraestructuras modernas y eficientes.

Los beneficiarios de esta propuesta son numerosos y variados, incluyendo a los residentes de Cusco, cuya identidad cultural y patrimonio intangible se verán preservados, y a los sectores turístico y comercial, que disfrutarán de una infraestructura sólida y discretamente integrada. Las empresas de telecomunicaciones, se beneficiarán de una infraestructura más accesible y menos burocrática. Asimismo, las municipalidades y gobiernos regionales encontrarán en esta propuesta la base necesaria para el desarrollo de proyectos de inversión en áreas como ciudades inteligentes, control automovilístico, y sistemas diversos como el circuito cerrado de televisión (CCTV), donde la infraestructura ya no será un obstáculo.

1.2.2. Justificación práctica

Actualmente, el **CHC** afronta la falta de un estudio exhaustivo sobre métodos óptimos de despliegue y diseño de redes de telecomunicaciones que consideren el bajo impacto visual y la preservación patrimonial. Esta carencia se hace más evidente ante el incremento de la demanda de servicios de internet y la necesidad de infraestructuras para proyectos estatales y privados en áreas sensibles. La ausencia de una estrategia coherente y regulada ha llevado a un despliegue informal de infraestructuras, exacerbado por vacíos normativos que dificultan una regulación efectiva.

Este trabajo propone llenar ese vacío, estableciendo las bases para una regulación óptima y la creación de estándares técnicos para el despliegue de redes en zonas monumentales y otras áreas de importancia cultural y arquitectónica. Con un enfoque práctico basado en sólidos fundamentos de ingeniería, se busca garantizar que la infraestructura de telecomunicaciones sea compatible con el dinamismo socio-económico en crecimiento y respetuosa del patrimonio histórico. La implementación de un diseño de red óptimo y respetuoso con el patrimonio cultural no solo facilitará la conexión a internet y otros servicios de telecomunicaciones, sino que también apoyará el desarrollo de proyectos estatales y privados que requieren una infraestructura de telecomunicaciones robusta y eficiente. Este enfoque práctico y respetuoso es fundamental para mantener la integridad estética y cultural del **CHC**, al mismo tiempo que se satisfacen las necesidades tecnológicas contemporáneas.

1.2.3. Justificación técnica

La necesidad de un estudio profundo sobre los métodos de despliegue óptico en el **CHC** es fundamental, dadas las complejidades inherentes a su contexto patrimonial y urbanístico. Esta tesis se propone realizar un estudio comparativo de métodos de despliegue de redes ópticas, considerando una amplia gama de factores como materiales, equipos, recursos y ubicaciones óptimas para la infraestructura de telecomunicaciones. Se desarrollará un diseño detallado a nivel de ingeniería, seleccionando y aplicando la tecnología más adecuada para optimizar el uso de las redes ópticas en este entorno único.

Esto incluirá la optimización de divisores ópticos (*splitters*) para reducir al mínimo las pérdidas de potencia y maximizar la eficiencia de la señal.

Parte esencial de este trabajo será el análisis de la arquitectura de red, particularmente la utilización de PON, y la evaluación de rutas FTTx. Se realizarán cálculos meticulosos de atenuación de la señal y se simulará el diseño de la red para garantizar su viabilidad y eficacia en el contexto urbano y patrimonial del CHC.

Esta investigación técnica sienta las bases para la implementación de ciudades hiperconectadas e inteligentes, donde la preservación del rico legado histórico y cultural no sea un obstáculo para el desarrollo tecnológico. El objetivo es lograr un equilibrio entre la modernización de la infraestructura de telecomunicaciones y la conservación del patrimonio, asegurando que el CHC se mantenga como un testimonio viviente de la historia, al tiempo que se integra armoniosamente en la era digital.

1.2.4. Justificación legal

Esta tesis se fundamenta legalmente en el actual marco normativo que rige el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en zonas de valor patrimonial, como es el caso del CHC. Este estudio se esfuerza por ir más allá del cumplimiento con las normativas vigentes, buscando identificar y cubrir algunos vacíos y limitaciones de la legislación actual debido a la diferenciación exclusiva de su contexto, especialmente en lo que respecta a la implementación de tecnologías avanzadas de telecomunicaciones en contextos históricos y culturales delicados.

Esta tesis se apoya en una variedad de leyes y regulaciones existentes que fomentan el uso y desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones, como lo establecido en el texto único ordenado de la ley de telecomunicaciones, la ley N° 29904 (ley de promoción de la banda ancha y construcción de la red dorsal nacional de fibra óptica) y su respectivo reglamento.

Estas leyes enfatizan la importancia de la modernización y el desarrollo de las telecomunicaciones en un marco de libre competencia, garantizando que la instalación de infraestructura no genere daños a la infraestructura pública ni a terceros, y cumpliendo con las normas municipales o de otros organismos públicos [28], [29] y [30].

Sin embargo, un análisis detallado de estas normativas revela un vacío significativo en cuanto a la preservación patrimonial, especialmente en áreas de gran valor histórico y cultural como el **CHC**. A pesar de las regulaciones generales sobre la instalación y desmontaje de infraestructuras de telecomunicaciones, como lo señalado en la ordenanza municipal 115 que dio inicio al plan maestro del **CHC** y el decreto supremo que modifica diversos artículos del reglamento de la ley N° 29022, hay una falta de directrices específicas para el desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones ópticas en zonas monumentales [31] y [32].

Esta tesis busca llenar este vacío, proponiendo un diseño de red óptica que no solo cumpla con los requisitos técnicos y de eficiencia, sino que también considere el impacto patrimonial y estético en el **CHC**. La propuesta está alineada con la ley general del patrimonio cultural de la nación (ley N° 28296), que subraya la necesidad de proteger y conservar el patrimonio cultural tangible e intangible, y resalta la responsabilidad del estado, los titulares de derechos sobre bienes patrimoniales y la ciudadanía en su conservación [33].

Además, la tesis considera de manera crítica la legislación sobre la mimetización de infraestructura de telecomunicaciones, específicamente el decreto supremo N° 003-2015-MTC, que modifica diversos artículos y el anexo 2 del reglamento de la ley N° 29022, ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones. Esta legislación se centra en la integración estética y discreta de la infraestructura de telecomunicaciones en el paisaje urbano, buscando minimizar su impacto visual. Con los mismos argumentos este trabajo se respalda con el decreto supremo N° 007-2024-MTC que aprueba la ley N° 31595. Este aspecto es de particular relevancia en el contexto del **CHC**, donde la conservación visual y estética es de suma importancia. La propuesta de diseño, por lo tanto, aspira a cumplir no solo con los requerimientos técnicos sino también a adaptarse de manera armónica y respetuosa con el patrimonio cultural y estético de la zona [34], [35], [36] y [37].

1.3. Alcance

Esta investigación se caracteriza por su enfoque descriptivo, centrado exclusivamente en el estudio detallado de los métodos de despliegue de redes ópticas en el **CHC**. Se llevará a cabo un análisis minucioso de las características y especificaciones técnicas de diversos métodos de despliegue, con el objetivo de identificar aquellos que sean más compatibles con el entorno patrimonial y cultural de la zona.

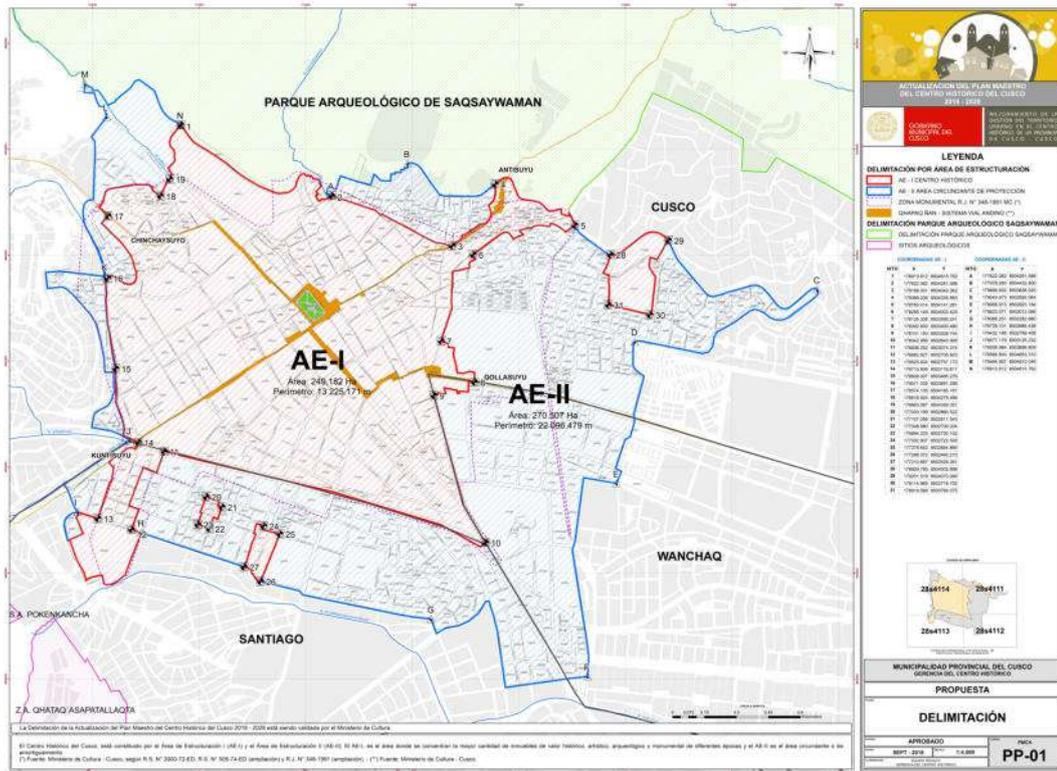


Figura 1.1: Delimitación CHC [3]

El alcance geográfico de este estudio se limita específicamente al CHC, el área AE-I. La investigación se desarrollará dentro de un marco temporal definido, concluyendo en menos de un año, para establecer límites claros en términos de ejecución y finalización.

Respecto al diseño propuesto para la red óptica, se validará mediante cálculos teóricos complementados con simulaciones computacionales por *software*, sin avanzar hacia una implementación física.

Este estudio se enfocará en desarrollar recomendaciones y propuestas de diseño que respeten las restricciones patrimoniales y culturales, sin involucrarse directamente en la modificación de legislaciones o políticas públicas. Así, el proyecto se concentra en aportar una perspectiva de ingeniería a la problemática de despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones en contextos monumentales.

1.4. Limitaciones

- Esta investigación se enfocará principalmente en la fase de diseño y planificación de una red de fibra óptica para el **CHC**, sin incluir la implementación física real de la infraestructura. Aunque se desarrollarán propuestas detalladas de diseño, la tesis no abarcará la construcción o el despliegue efectivo de la red.
- Los análisis y simulaciones para evaluar el diseño de la red óptica se basarán en datos y modelos teóricos. Esto implica que ciertos aspectos prácticos o imprevistos que podrían surgir en un escenario de implementación real pueden no ser completamente contemplados en el estudio. Las recomendaciones y conclusiones se limitarán a lo que los modelos teóricos y las simulaciones puedan demostrar.

1.5. Variables

- Calidad de la señal en la red óptica

1.6. Indicadores

- Potencia óptica recibida
- Tasa de error de transmisión y diagrama de ojo para evaluar la integridad de la señal

1.7. Metodología

1.7.1. Tipo y diseño de metodología

El enfoque adoptado para esta investigación es cuantitativo, centrado en el análisis y comparación de distintos métodos de despliegue y diseño de redes ópticas. Esta elección se basa en la naturaleza específica y medible de los objetivos del estudio, que requieren una evaluación detallada y numérica de las variables e indicadores identificados. En línea con este enfoque, se ha optado por un método descriptivo, acorde con la definición establecida por Hernandez en su obra “Metodología de la investigación”.

Este método es particularmente adecuado para el proyecto, dado que el objetivo principal es proponer un diseño para el despliegue de redes ópticas en el marco regulatorio de zonas monumentales, enfocándose específicamente en el **CHC**.

La investigación descriptiva permitirá analizar detalladamente la infraestructura actual de telecomunicaciones en el **CHC**, evaluar distintas técnicas y tecnologías de despliegue óptico, y finalmente, diseñar una propuesta que equilibre la eficiencia técnica con la conservación patrimonial y la integración urbana.

El estudio se centrará en la recolección y análisis de datos cuantitativos relacionados con los parámetros técnicos de las redes ópticas, así como en la evaluación de su impacto visual y su cumplimiento con las normativas urbanísticas y de seguridad. Este enfoque cuantitativo proporcionará una base sólida para el desarrollo de una propuesta de diseño que sea viable, eficiente y respetuosa con el valioso entorno del **CHC** [38].

Este proyecto de tesis se categoriza como una investigación aplicada, orientada hacia la aplicación práctica de la tecnología. El objetivo principal del estudio es abordar y ofrecer una solución de ingeniería a la problemática actual relacionada con la infraestructura inadecuada de telecomunicaciones alámbricas en las áreas patrimoniales del **CHC**.

El tipo de investigación es una investigación aplicada por que se tratara de buscar solución a un problema social.

Como menciona Lozada en su obra “Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria”. El sustento de por qué esta investigación es aplicada; es porque el objetivo de este tipo de investigación es encontrar la manera de generar nuevo conocimiento para que, con estas bases, sea perfectamente factible su implementación dando así respuestas inmediatas a dificultades que puede atravesar una población; como es el caso del **CHC**. Esto es fruto de una investigación elemental, considerando la relación que existe entre la teoría y la práctica o, se propone el desarrollo de un diseño de ingeniería [39].

El diseño de investigación, basándonos en Hernandez en su libro “Metodología de la investigación” es no experimental transversal puesto que la investigación no utiliza variables independientes para tener impacto en sus variables dependientes. También se sustenta este diseño tipo transversal por que la toma de datos es indiferente en el tiempo, por lo que se toman una sola vez para analizar el comportamiento de sus variables e indicadores para indagar sus resultados [38].

1.7.2. Desarrollo del proyecto

La metodología de este proyecto de tesis se desarrollará en varias etapas clave, enfocándose en el análisis y diseño de redes ópticas en el **CHC**, particularmente en sus zonas monumentales. Inicialmente nos ocuparemos de su recopilación de información legislativa y regulatoria lo cual implicará la recolección exhaustiva de datos sobre la legislación y normativas que rigen las telecomunicaciones en áreas de importancia cultural y patrimonial. Se realizará un análisis detallado para comprender el marco legal y regulatorio actual y sus implicaciones en el diseño de infraestructura de telecomunicaciones alámbricas.

Análisis de métodos de despliegue de redes ópticas: En esta fase, se examinarán los diferentes métodos de despliegue de redes ópticas, con un enfoque en aquellos que son aplicables a entornos sensibles como el **CHC**. Se considerarán las características geográficas, demográficas y culturales de la zona para asegurar que el diseño propuesto sea adecuado y eficaz.

Evaluación de la situación actual y geolocalización: Se evaluará la infraestructura de telecomunicaciones alámbricas existente en el **CHC**, con un enfoque particular en las zonas monumentales. Esta evaluación incluirá la geolocalización de áreas clave y la evaluación de las demandas actuales y futuras de telecomunicaciones.

Comparativa de métodos y criterios de diseño inicial: Utilizando la información recopilada, se llevará a cabo una comparación de los métodos de despliegue de bajo impacto. Se examinarán los criterios iniciales de diseño, incluyendo la selección del tipo de arquitectura de red y la tecnología correspondiente más adecuada para el contexto del **CHC**.

Desarrollo del diseño de la red: Esta etapa se centrará en la elaboración del diseño, considerando la configuración lógica y los criterios de diseño definidos en las etapas anteriores. Se prestará especial atención a la integración visual y la minimización del impacto en el entorno patrimonial.

Validación de resultados y análisis de rendimiento: En las etapas finales, se llevará a cabo la validación del diseño propuesto. Esto incluirá un análisis del comportamiento óptimo de las variables dependientes, para asegurar que la red propuesta cumpla con los criterios de eficiencia, impacto visual y conformidad legal establecidos.

1.8. Antecedentes de la tesis

- Aitor Jiménez en su proyecto “Diseño y caracterización de una red *fiber to the Home* (FTTH) para una población”; aborda cómo se lleva la luz desde las cabeceras ópticas hasta las cajas terminales para los consumidores finales. Este diseño, realizado para la zona de L’Ardiaca en Cambrils, Tarragona, es un ejemplo de aplicación práctica y realista de la tecnología *gigabit capable passive optical network* (GPON), siguiendo la normativa y directrices del operador.

La infraestructura subterránea juega un papel crucial en este diseño, donde se destacan elementos como las cámaras de registro y las arquetas, que facilitan la instalación de cajas de empalme y equipos exteriores. Estas estructuras de hormigón, de diferentes tamaños y tipos, están diseñadas para albergar y proteger las conexiones y el cableado de fibra óptica. El diseño también incluye la planificación detallada de las canalizaciones, esenciales para la interconexión segura y eficiente de arquetas, cámaras de registro y edificios. Estas canalizaciones, hechas de *polyvinyl chloride* (PVC) o polietileno, varían en tamaño y función, desde las principales que alojan cables de gran capacidad hasta las secundarias para conexiones a viviendas individuales. El tendido de cable canalizado requiere una preparación y ejecución meticulosas para garantizar una instalación sin tensiones y conforme a los radios de curvatura del cable. Para ello, se utilizan hilos guía de fibra de vidrio y se toman precauciones especiales en las curvas y reservas de cable [40].

- Carlos Paz en su trabajo “Proyecto de red de distribución de fibra óptica para nueva urbanización”; realiza una exploración detallada sobre las redes ópticas, poniendo especial énfasis en las infraestructuras necesarias para un despliegue eficaz de servicios. Este estudio sigue de cerca las directrices del colegio oficial de ingenieros de telecomunicaciones de España, enfocándose en la planificación técnica, la seguridad y la eficiencia de los sistemas de telecomunicaciones, particularmente en entornos urbanos complejos y en el contexto de nuevos desarrollos urbanísticos.

El proyecto se basa en escenarios hipotéticos para la urbanización y la planificación

de parcelas, busca un alto grado de realismo simulando una verdadera instalación de telecomunicaciones. Se centra en el uso de tecnología GPON, implementando OLT y *optical network terminal* (ONT) conectadas por divisores ópticos para crear una red óptica pasiva de alta capacidad.

El trabajo incluye también el diseño detallado de la red de distribución, abarcando su dimensionamiento y planificación. Se presenta un diseño meticuloso de canalizaciones e infraestructura, utilizando planos detallados para ilustrar las rutas de canalización y otras instalaciones clave. De esta manera, Molina Casanovas contribuye significativamente al campo de las telecomunicaciones, aportando un enfoque práctico y bien fundamentado para la implementación de redes ópticas en entornos urbanos [41].

- Angy Torres y Jhon Espinoza en su proyecto de tesis “Red GPON para mejorar el acceso a los servicios de internet y cable en los abonados de *home TV* del distrito de Tuman”; se enfocó en el desarrollo de una red de fibra óptica hasta el hogar FTTH en Tuman, destinada a mejorar el servicio de telecomunicaciones tanto para los clientes actuales de *home TV* como para otros residentes del distrito. Para determinar la demanda y las preferencias de los usuarios, se realizaron encuestas que revelaron una alta tasa de aceptación y una preferencia por los planes de 12 Mbps + IPTV. Basándose en los principios de las redes de fibra óptica y la tecnología *10 gigabit capable passive optical network* (XGPON), se utilizó un plano catastral del distrito, considerando los postes de tendido eléctrico existentes, para diseñar la ruta de la fibra óptica. Este diseño se sometió a diversas simulaciones para verificar parámetros como la atenuación y el *bit error rate* (BER), asegurando así la eficacia de la red propuesta. En el proceso de diseño, se consideró un análisis exhaustivo de la población y la densidad de clientes en Tuman, lo que llevó a dividir el distrito en sectores específicos. Se seleccionaron dos sectores clave para el diseño, teniendo en cuenta la distancia y la reutilización del ancho de banda. Ante la congestión de cables y las limitaciones de las infraestructuras existentes, se optó por implementar postes propios y canalizaciones subterráneas para la nueva red. Herramientas como *Google Earth* y *Global Mapper* se utilizaron para la validación inicial de las rutas y la posterior exportación a *AutoCad*, facilitando la gestión eficiente de los costos operativos y de capital [42].

- Ricardo Morales y Alexis Quiña en su proyecto “Diseño de la red FTTH del barrio La Leon Chilibuo para la empresa Arteksolution Cia. Ltda.”; utilizan el *software Matlab* para diseñar una red que cubra eficientemente el barrio de La León, aplicando los algoritmos de Prim y Kruskal para optimizar las distancias y reducir costos. Además, se llevó a cabo una simulación utilizando el *software Optsim*, configurando la OLT y *optical network unit (ONU)* para garantizar una señal de calidad óptima dentro de un radio de 4 km. El proyecto también incorpora la tecnología GPON en su diseño. La fase de diseño y simulación se centró en modelar la red FTTH para el barrio La León en Quito, apoyándose en herramientas computacionales avanzadas. Uno de los principales desafíos del modelado de redes es identificar la ruta más corta y eficiente entre múltiples puntos, evitando redundancias y maximizando el ahorro en cableado. Los algoritmos de Dijkstra, Bellman-Ford, Prim y Kruskal son fundamentales en este proceso. Mientras que Dijkstra y Bellman-Ford tienen sus particularidades, especialmente en el manejo de aristas con valores negativos, para este diseño se eligieron los algoritmos de Prim y Kruskal, más adecuados para redes de tamaño mediano o pequeño, como es el caso de estudio [43].

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Fundamentos teóricos

2.1.1. Índice de refracción

Se define como la relación que existe entre materiales que poseen diferentes densidades al pasar el haz de luz. Específicamente compara la velocidad de la luz sin obstrucciones de ningún tipo con la velocidad de la luz en un material determinado. La velocidad de la luz sin obstrucciones redondea los 300 000 000 metros por segundo a partir de ese punto la velocidad varía dependiendo del tipo de material. Evidentemente siempre disminuirá puesto que no existe hasta la fecha mayores velocidades que la luz en el vacío [4].

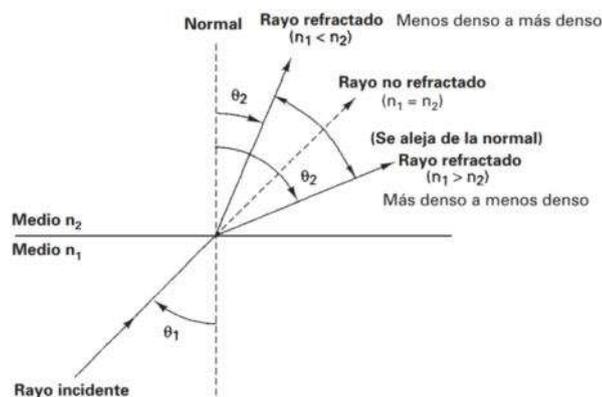


Figura 2.1: Refracción ley de Snell [4]

2.1.2. Ángulo de aceptación, θ

Este término se refiere al ángulo límite que pueden tener los rayos luminosos al ingresar en una fibra óptica multimodo para que logren propagarse a través de ella. Este ángulo se mide en relación con el eje central de la fibra, indicando la máxima inclinación que los rayos pueden presentar para ser guiados por el núcleo [44].

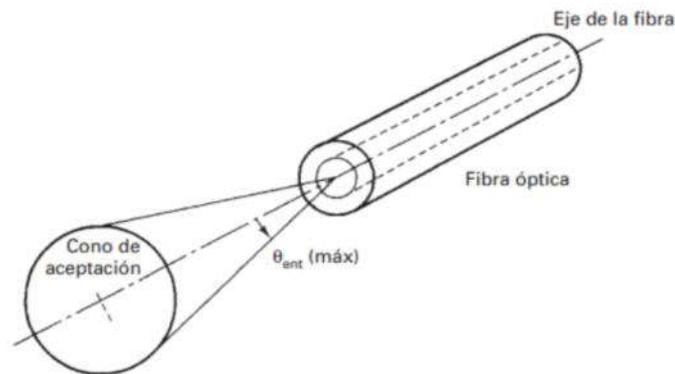


Figura 2.2: Ángulo cono de aceptación [4]

2.1.3. Frecuencia normalizada

Se trata de una medida sin dimensiones que se utiliza para analizar el comportamiento electromagnético y la propagación de señales dentro de las fibras ópticas. Este parámetro interrelaciona el diámetro del núcleo de la fibra óptica, la apertura numérica, y la longitud de onda en operación [44].

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot AN \quad (2.1)$$

Donde:

λ : Longitud de onda.

a : Radio del núcleo de la fibra óptica.

AN : Apertura numérica de la fibra óptica.

2.1.4. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de comunicación que conduce luz como guía de onda cuya característica principal es tener una estructura en forma de hilos y que son de materiales traslucidos como el vidrio o plástico. Su diseño tiene como finalidad transmitir datos a distancias lejanas empleando evidentemente señales ópticas [45].

2.1.5. Estructura física de la fibra óptica

Se constituye de tres componentes principales: El núcleo central, una cubierta protectora inmediata, y un revestimiento externo. El diámetro del núcleo varía según el tipo de fibra; para las fibras monomodo es típicamente de $8.3\ \mu\text{m}$, mientras que para las multimodo se utiliza $50\ \mu\text{m}$ o $62.5\ \mu\text{m}$, en contraste, el diámetro de un cabello humano promedio es de aproximadamente $70\ \mu\text{m}$. La cubierta protectora posee un diámetro estándar de $125\ \mu\text{m}$. La diferenciación entre fibras monomodo y multimodo será discutida más adelante [45].

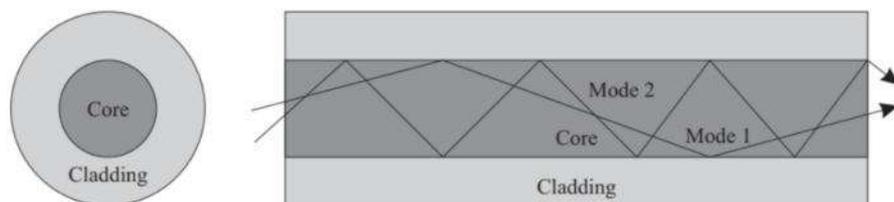


Figura 2.3: Estructura física de la fibra óptica [5]

El núcleo y la cubierta están compuestos principalmente por sílice, aunque su composición varía para facilitar la reflexión total interna, esencial para la transmisión de luz a través del núcleo. La geometría y el tamaño del núcleo influyen directamente en las capacidades de transmisión de la fibra. El revestimiento externo, generalmente fabricado de polímeros, tiene como función proteger las capas internas de daños físicos y proveer al cable de características mecánicas deseables. Este revestimiento se divide en un recubrimiento primario de $125\ \mu\text{m}$ y un recubrimiento secundario que puede alcanzar los $800\ \mu\text{m}$ de diámetro [45].

2.1.6. Cable de fibra óptica

Se identifican componentes que aseguran su funcionalidad y durabilidad. Diversas capas de protección, como revestimientos y mezclas de poliuretano, son fundamentales para mitigar el impacto de la humedad y presiones externas. Algunos diseños incorporan capas adicionales para adaptarse a variaciones extremas de temperatura y reforzar contra tensiones mecánicas, utilizando materiales resistentes como *kevlar* y acero. Además, se aplican tratamientos como laca y acrilato para preservar las propiedades inherentes de la fibra. La selección de la estructura del cable se orienta según las necesidades específicas del sistema y las limitaciones económicas y ambientales.

Cada componente estructural de los cables ópticos está meticulosamente diseñado para proporcionar protección mecánica a las fibras ópticas que contienen, garantizando así su funcionalidad durante toda su vida útil. La prioridad en el diseño es mantener las propiedades mecánicas y ópticas de las fibras, resguardándolas de daños ambientales y de las tensiones que se generan durante la instalación, despliegue y uso continuado del cable. Los dos elementos mecánicos esenciales en el diseño de estos cables son la resistencia mecánica de las fibras ópticas y su capacidad para resistir el envejecimiento o la fatiga estática.

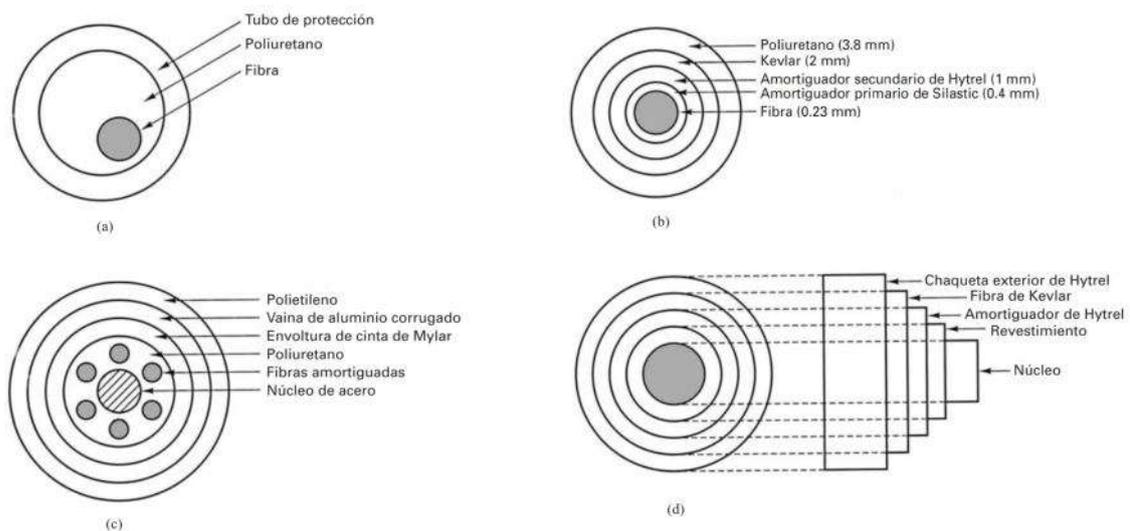


Figura 2.4: Cables de fibra óptica: (a) construcción suelta en tubo, (b) fibra restringida, (c) fibras múltiples, (d) cable de sílice revestida de plástico [4]

2.1.7. Ducto de cable de fibra óptica

Existe una gran variedad de ductos, pero en esta tesis nos enfocamos en el ducto cuyo método de instalación es el soplado. En las operaciones típicas de tracción de cables (sin asistencia de aire), la fricción entre el cable y la pared del ducto, especialmente en curvas y cambios de elevación, provoca que la tensión de tracción aumente exponencialmente a medida que se incrementa la longitud del cable dentro del conducto. Las instalaciones asistidas por aire reducen significativamente estas fuerzas de contacto. Al preparar una instalación asistida por aire, se deben considerar los siguientes parámetros:

- Tamaño del cable y del conducto
- Tipo de cable
- Temperatura y humedad ambiente
- Presión hidráulica máxima del mecanismo del tractor
- Radio de curvatura del cable
- Tipo y condición del conducto
- Lubricación del conducto
- Compresor de aire y enfriador

2.1.7.1. Proporción de llenado o *fill ratio*

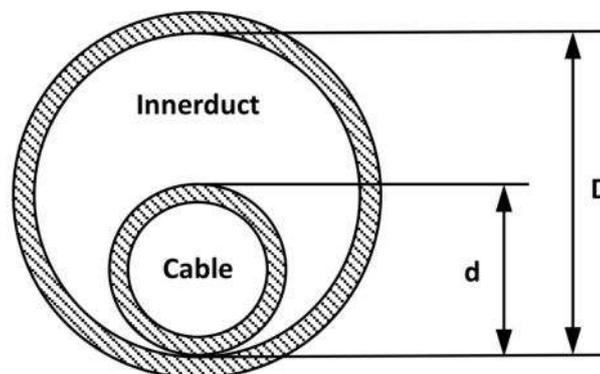


Figura 2.5: Diagrama de proporción de llenado en ductos [6]

Al tirar de cables, la proporción de llenado se calcula utilizando áreas, d/D . Para un rendimiento óptimo al soplar o inyectar cables, se recomienda usar diámetros simples para calcular la proporción de llenado, con un rango objetivo del 50 % al 80 %. El cálculo del ratio de llenado se determina mediante la siguiente ecuación:

$$fill\ Ratio\ (\%) = \left(\frac{\text{diametro exterior del cable (d)}}{\text{diametro interior del ducto (D)}} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

En general, proporciones de llenado más altas permiten alcanzar mayores distancias de instalación para las instalaciones asistidas por aire. Esto se debe a la capacidad del cable para ser empujado a través del conducto sin formar una onda helicoidal dentro de éste. No obstante, el rendimiento con relaciones de llenado altas puede verse afectado por la incapacidad del cable para doblarse a lo largo de su ruta [6].

2.1.8. Tipos de fibra óptica

2.1.8.1. Por el índice de refracción del núcleo

1. Índice escalonado: Las fibras ópticas con índice escalonado presentan un diseño en el cual el núcleo central posee un índice de refracción constante, ofreciendo una única ruta principal para la propagación de la luz. Este diseño permite que la luz se transmita eficazmente a través del cable óptico, principalmente por reflexión interna total, facilitando la transmisión de señales con mínima dispersión. A pesar de su eficiencia, estas fibras pueden requerir fuentes de luz altamente direccionales, como láseres, para optimizar la inyección de la señal debido a la pequeñez de su núcleo [4].
2. Índice gradual: Por otro lado, las fibras ópticas de índice gradual se distinguen por un núcleo cuyo índice de refracción disminuye progresivamente desde el centro hacia el exterior. Este gradiente de índice facilita la refracción continua de la luz hacia el eje central de la fibra, permitiendo una propagación más uniforme de la señal a través de diferentes trayectorias. Este diseño ayuda a minimizar la dispersión modal y permite una mayor eficiencia en la transmisión de datos a largas distancias [4].

2.1.8.2. Por el comportamiento de la propagación

1. Monomodo: Las fibras monomodo son aquellas diseñadas para soportar una única trayectoria de propagación de la luz. Estas fibras, típicamente de índice escalonado, permiten que la luz se propague directamente a lo largo de su eje sin reflexiones internas significativas. Este diseño reduce al mínimo la dispersión de los pulsos de luz, haciendo posible la transmisión de señales a mayores distancias y con mayores tasas de transmisión de datos. Sin embargo, la precisión requerida para acoplar la luz en estas fibras demanda tecnologías de emisión de luz más sofisticadas [4].
2. Multimodo: Las fibras multimodo permiten múltiples trayectorias de propagación dentro del cable. Dependiendo de si el índice es escalonado o gradual, la luz puede propagarse en *zigzag* o ser guiada suavemente hacia el centro, respectivamente. Las fibras multimodo de índice escalonado facilitan la inyección de la luz debido a su núcleo más amplio, pero pueden sufrir mayor dispersión modal. En contraste, las fibras multimodo de índice gradual ofrecen una mejora en la gestión de la dispersión, equilibrando la velocidad de propagación de la luz a través del núcleo y permitiendo una transmisión más uniforme.

La elección entre fibra unimodal y multimodal depende de las necesidades específicas de la aplicación. Las fibras unimodales de índice escalonado destacan por su capacidad para mantener la coherencia de los pulsos de luz con mínima dispersión, lo cual es crucial para aplicaciones que requieren alta fidelidad en la transmisión de datos a larga distancia.

Aunque su acoplamiento de luz es más desafiante, ofrecen ventajas significativas en términos de ancho de banda y capacidad de transmisión.

En contraste, las fibras multimodales, tanto de índice escalonado como graduado, proporcionan una solución más accesible y fácil de manejar en términos de acoplamiento de luz. Aunque enfrentan desafíos en cuanto a la dispersión de señales, son adecuadas para aplicaciones de corta distancia donde la facilidad de uso y el costo son consideraciones importantes.

Cada tipo de fibra óptica presenta un conjunto único de características que influyen

en su aplicación en sistemas de telecomunicaciones, desde redes de área local hasta enlaces de larga distancia y sistemas de cableado estructurado. La selección adecuada del tipo de fibra óptica mejora la eficiencia, la calidad de la señal y la fiabilidad del sistema de telecomunicaciones [4].

2.1.8.3. Tipos de fibra óptica según el material

Las fibras ópticas se clasifican según el material de fabricación en tres categorías principales: Fibras de plástico, fibras de vidrio con revestimiento de plástico, y fibras de vidrio completo. Cada tipo presenta características únicas adaptadas a diversas aplicaciones.

1. Fibras de plástico: Son notablemente flexibles y resistentes, lo que las hace ideales para instalaciones que requieren durabilidad y manejo sencillo. Su principal limitación es la alta atenuación, restringiendo su uso a distancias cortas [46].
2. Fibras con núcleo de vidrio y revestimiento de plástico: Presentan una atenuación menor en comparación con las fibras de plástico y son menos susceptibles a daños por radiación, lo que las hace preferidas en aplicaciones militares [46].
3. Fibras de vidrio: Ofrecen las mejores características de transmisión y son más fáciles de terminar, aunque son más delicadas y susceptibles a daños por radiación y tensión. La elección de la fibra óptica depende de un equilibrio entre costos, eficiencia de transmisión, y requisitos específicos de la aplicación [46].

2.1.8.4. Tipos de fibra óptica según la composición

1. Cable de estructura holgada: Este diseño incluye múltiples tubos de fibra alrededor de un eje central reforzado, con cada tubo conteniendo varias fibras ópticas. Su característica principal es la protección contra fuerzas externas y la resistencia al agua gracias a un gel especial en los tubos. Se utiliza principalmente en exteriores debido a su robustez.

2. Cable de estructura ajustada: Este cable contiene fibras individuales protegidas por una cubierta secundaria y un miembro central de tracción. La protección adicional permite una instalación más directa y es ideal para recorridos internos y verticales en edificios gracias a su flexibilidad y menor radio de curvatura [46].
3. Cable blindado: Incorpora una armadura de acero bajo la cubierta exterior para protección contra el aplastamiento y ataques de roedores, ideal para enterramientos directos o entornos industriales pesados [46].

2.1.9. Atenuación

Es el proceso por el cual la intensidad de la señal se reduce a lo largo de su trayectoria en la fibra óptica. Para un modo específico de propagación, esta reducción en la fuerza de la señal se manifiesta de forma exponencial en relación con la distancia recorrida. Cuando se cuantifica esta disminución en términos logarítmicos, utilizando decibelios, se establece que la atenuación es directamente proporcional a la longitud de la fibra. La constante de atenuación, medida en dB/km, determina la tasa a la que ocurre esta pérdida de señal [44].

2.1.9.1. Atenuación intrínseca

Esta representa las pérdidas fundamentales de la fibra óptica, originadas por las impurezas del vidrio o las estructuras heterogéneas creadas durante su fabricación. A pesar de los avances tecnológicos que han reducido significativamente la atenuación, las técnicas de fabricación más precisas aún no han conseguido eliminar todas las impurezas. Cuando la luz incide en una impureza, puede suceder que se difunda o se absorba. Esto da lugar a dos categorías principales, que son la pérdida por absorción y la pérdida por dispersión.

2.1.9.2. Atenuación extrínseca

Se refiere a las pérdidas ocasionadas por la curvatura de la fibra. Una flexión en la fibra puede alterar el ángulo crítico en esa zona específica, lo que resulta en que parte de la luz

que transita por el núcleo se refracta, generando así una pérdida de potencia.

1. Microcurvatura: Esto se produce por microcurvaturas o pequeñas grietas en el núcleo que ocurren debido a variaciones de temperatura o al estiramiento durante el proceso de tendido del cable.
2. Macrocurvatura: Sucede cuando los cables se doblan excesivamente. Para mitigar esta pérdida, se establece un radio mínimo de curvatura. Conforme a las normas de la ITU-T para condiciones dinámicas durante la instalación del cable, la fibra experimenta ciertos esfuerzos resultantes de la tensión y la curvatura del cable. Los componentes que proporcionan resistencia mecánica en el cable y el radio de curvatura de instalación deben ser elegidos de manera que restrinjan estos esfuerzos combinados. Radio de curvatura para cables con más de 4 filamentos:
 - 20 veces el diámetro exterior del cable bajo tensión
 - 10 veces el diámetro exterior del cable sin tensión

2.1.10. Sistemas de telecomunicaciones basados en fibra óptica

Un sistema de comunicaciones ópticas se diferencia de otros sistemas principalmente por usar longitudes de onda mucho más cortas, aproximadamente una micra, a diferencia de las longitudes de onda de microondas. Gracias a esta característica, es capaz de transmitir una mayor cantidad de información, alcanzando velocidades de hasta varios terabits por segundo, gracias a su extenso ancho de banda. En términos conceptuales, la estructura de un sistema óptico es similar a la de otros sistemas de comunicación, constando de un transmisor que emite radiación óptica y un receptor. Las etapas iniciales del procesamiento son electrónicas, pero la señal eventualmente se transforma en radiación óptica, que puede ser modulada o mantenerse constante según el tipo de emisor utilizado.

La transmisión de esta señal se efectúa a través de fibra óptica, un medio confinado óptimo para la propagación de luz debido a sus características específicas [7].

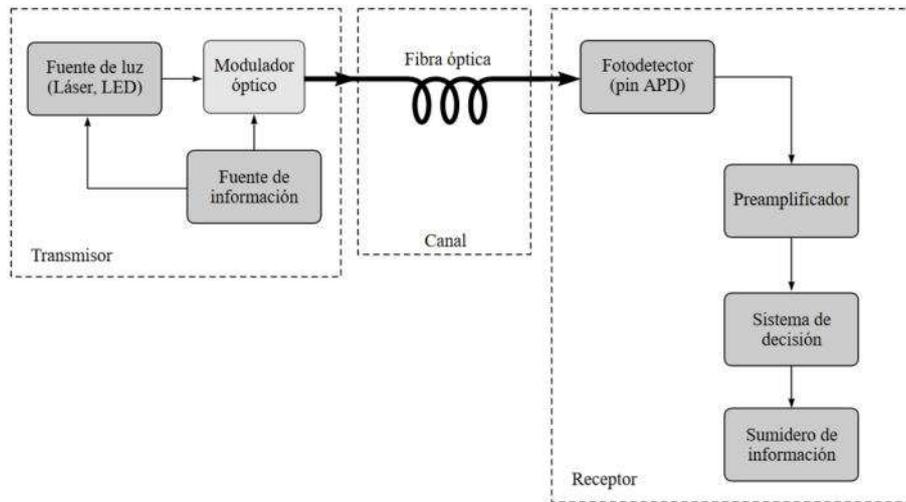


Figura 2.6: Esquema sistema de comunicación fibra óptica [7]

Después de que la señal óptica es captada y transformada en eléctrica, el procedimiento de procesamiento es comparable al de otros sistemas. Generalmente esta señal debe ser preamplificada para su análisis en un circuito de decisión y posterior transmisión al destino final. Si la señal óptica se deteriora considerablemente en su trayecto, el método inicial consistía en convertirla nuevamente en eléctrica, reconfigurarla y enviarla de nuevo usando dispositivos llamados regeneradores, en un proceso conocido como repetición. No obstante, esta técnica ha quedado obsoleta en sistemas más avanzados. Históricamente, el empleo de componentes exclusivamente electrónicos para el procesamiento de señales ópticas restringía los beneficios de su amplio ancho de banda. Desde la década de los ochenta, se ha progresado en el desarrollo de tecnologías que promueven el procesamiento fotónico de las señales ópticas, con especial mención a los amplificadores ópticos de fibra dopada con tierras raras que potencian la intensidad de la luz transmitida. Además, se han creado arquitecturas que orientan las señales ópticas hacia diversos destinos con intervención electrónica reducida, originando así una nueva generación de sistemas de comunicaciones ópticas con un enfoque más centrado en lo fotónico, tal como se ilustra en la figura 2.7 [7].

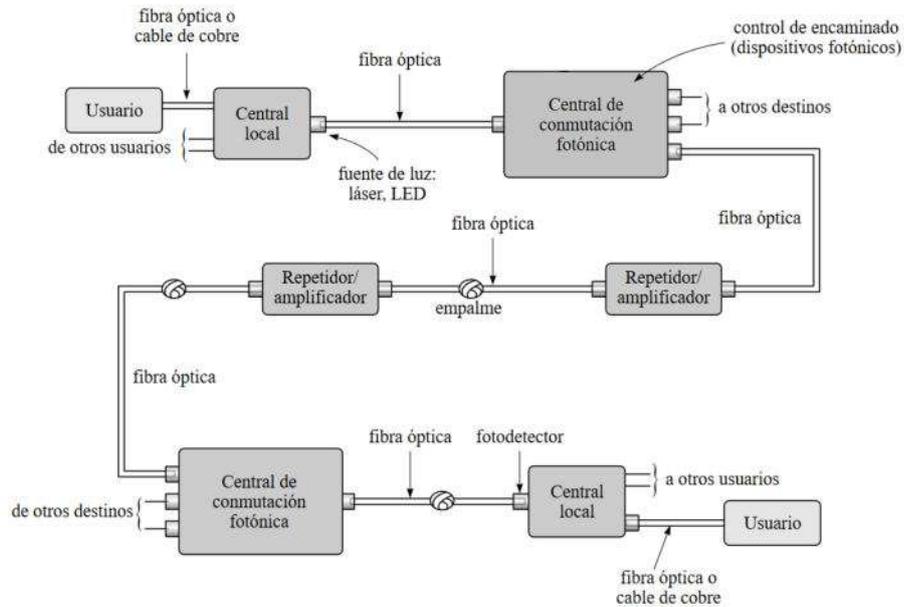


Figura 2.7: Diagrama de sistema de comunicaciones ópticas con etapas de enrutamiento intermedio y amplificación de señales [7]

El trayecto en las comunicaciones ópticas, a pesar de que podría visualizarse como un enlace directo de punto a punto, involucra varias etapas cruciales tales como las centrales y los repetidores ilustrados en la figura. Los repetidores modernos emplean fibra óptica impregnada con tierras raras que amplifican la señal óptica directamente, eliminando la necesidad de conversiones entre formatos eléctricos y ópticos y facilitando la amplificación de diversas longitudes de onda de manera simultánea sin necesidad de separarlas primero. Este avance ha propiciado el desarrollo de sistemas de multiplexación por longitud de onda, que son esenciales en las comunicaciones ópticas actuales. Por otro lado, las centrales de comunicación fotónica, referenciadas en la figura 2.7, apuntan a conectar un número elevado de usuarios al mismo tiempo, de manera similar a como funcionan las redes telefónicas. Hoy en día, la mayoría de los enlaces de larga distancia operan mediante fibra óptica, y todavía es necesario convertir las señales en algunos tramos, el objetivo es que el procesamiento completo se efectúe utilizando técnicas fotónicas, una meta que ya se está alcanzando parcialmente en las centrales fotónicas modernas [7].

2.1.11. Redes de comunicaciones ópticas

Las redes ópticas de comunicaciones ópticas para enviar información, posibilitando la coexistencia de varios canales de comunicación en el mismo soporte sin que se produzcan interferencias notables, de forma análoga a cómo operan distintas estaciones de radio transmitiendo al mismo tiempo sin interferencias mutuas. Esta funcionalidad hace posible una utilización más eficaz de cada fibra óptica y aumenta considerablemente la capacidad de transmisión de datos. Estas redes vinculan diferentes espacios como áreas industriales, residenciales y universidades, facilitando la comunicación entre usuarios de distintas redes a través de la tecnología *wavelength division multiplexing* (WDM).

Dentro de estas redes, a cada usuario o conjunto de usuarios se le asigna una longitud de onda específica para la transmisión y recepción de datos. Los desafíos aparecen en la administración y asignación de estas longitudes de onda, que deben categorizarse en frecuencias locales, utilizadas en entornos concretos y globales, empleadas para la intercomunicación entre distintos ámbitos. Optimizar el aprovechamiento de las longitudes de onda disponibles es fundamental y demanda componentes que puedan ajustar las frecuencias ópticas para comunicaciones de largo alcance. Esta exigencia ha propulsado un sector dinámico de desarrollo, centrado tanto en la creación de nuevos componentes como en algoritmos diseñados para optimizar el uso eficiente de rutas y frecuencias en las redes ópticas.

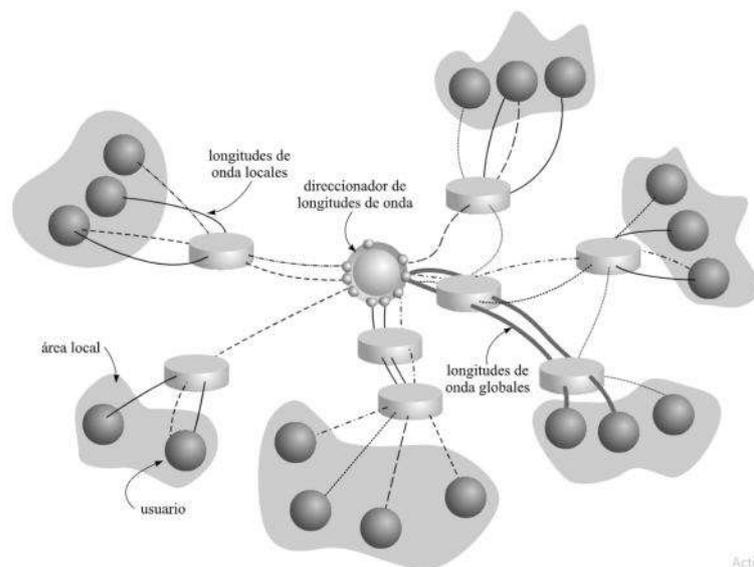


Figura 2.8: Esquema de red óptica mundial con agrupación de longitudes de onda [7]

2.1.12. Topología

Las arquitecturas de red en sistemas que utilizan fibra óptica para transmitir datos se caracterizan por sus topologías específicas. Dichas topologías establecen cómo se organizan, tanto de manera física como lógica, las conexiones y los equipos dentro de una red fundamentada en fibra óptica. Existen varias configuraciones clave en el dominio de las redes de fibra óptica, cada una con sus propias características y usos particulares.

2.1.12.1. Topología punto a punto

Consiste en un enlace de fibra óptica que conecta dos dispositivos directamente. Se emplea para conexiones de telecomunicaciones de larga distancia y para enlaces dedicados de alta velocidad.

2.1.12.2. Topología punto-multipunto

1. Topología en bus: Todos los dispositivos se acoplan a un único cable de fibra óptica central. Los datos se envían en dos direcciones a lo largo de este cable, compartiendo un único canal de comunicación entre todos los dispositivos. Esta configuración ha perdido popularidad en las redes de fibra óptica actuales por su limitada capacidad de expansión y los problemas de interferencia de datos [8].

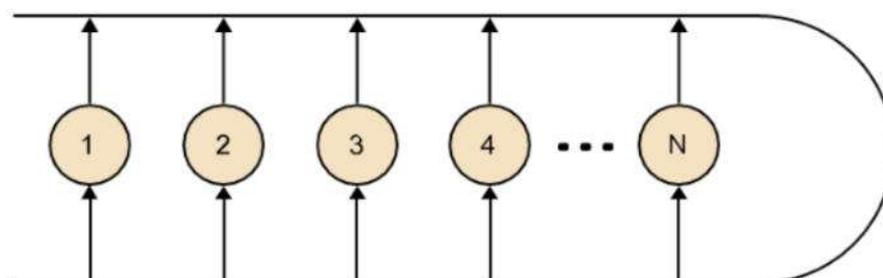


Figura 2.9: Esquema de una topología en bus cerrado [8]

2. Topología en estrella: Predominante en redes *local area network* (LAN) de fibra óptica, esta topología conecta todos los dispositivos a un punto central, como puede ser un conmutador o *hub*. Esta configuración simplifica la administración de la red y aumenta la seguridad, permitiendo el monitoreo o bloqueo individual de las conexiones [8].

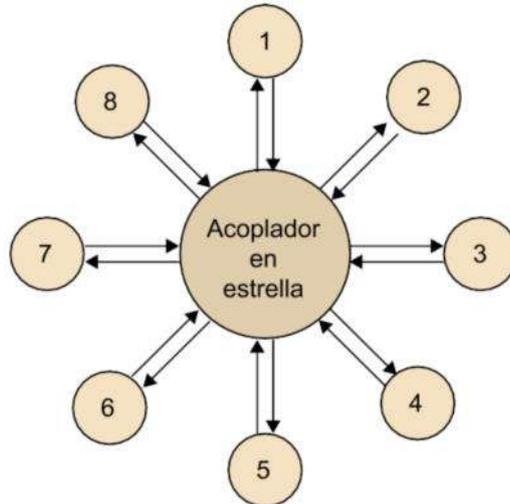


Figura 2.10: Esquema de una topología en estrella [8]

3. Topología en anillo: Cada dispositivo está conectado únicamente a dos dispositivos vecinos, creando un circuito cerrado. Los datos fluyen en una sola dirección alrededor del anillo. Una variante frecuente en las redes de fibra óptica es el anillo doble, que ofrece una ruta alternativa para los datos si se produce un fallo en alguna de las conexiones [8].

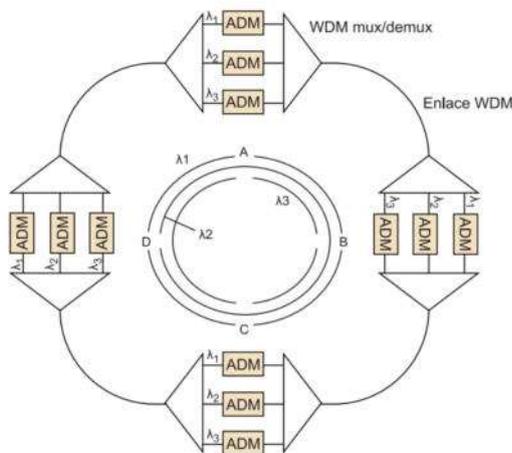


Figura 2.11: Esquema de una topología en anillo [8]

4. Topología en malla: Se caracteriza por conexiones directas entre todos los dispositivos de la red, lo que proporciona una gran redundancia y fiabilidad. Sin embargo, por su alto costo de implementación y mantenimiento, se reserva para entornos donde la continuidad de la red es una prioridad absoluta.
5. Topología en árbol: Integra aspectos de las topologías en estrella y en bus, adecuada para ampliar y segmentar la red. Se basa en un cable principal que funciona como columna vertebral, de donde se desprenden múltiples ramificaciones en estrella.

2.1.13. Aplicaciones de topología en redes de distribución

Esta arquitectura se emplea cuando una única estación transmisora necesita enviar información a múltiples terminales, que en ocasiones son pasivos y solo pueden recibir datos. Un ejemplo clásico es la distribución de televisión a través de un terminal único, conocido como *community antenna television (CATV)*. Estos ajustes generalmente permanecen inalterados una vez establecidos.

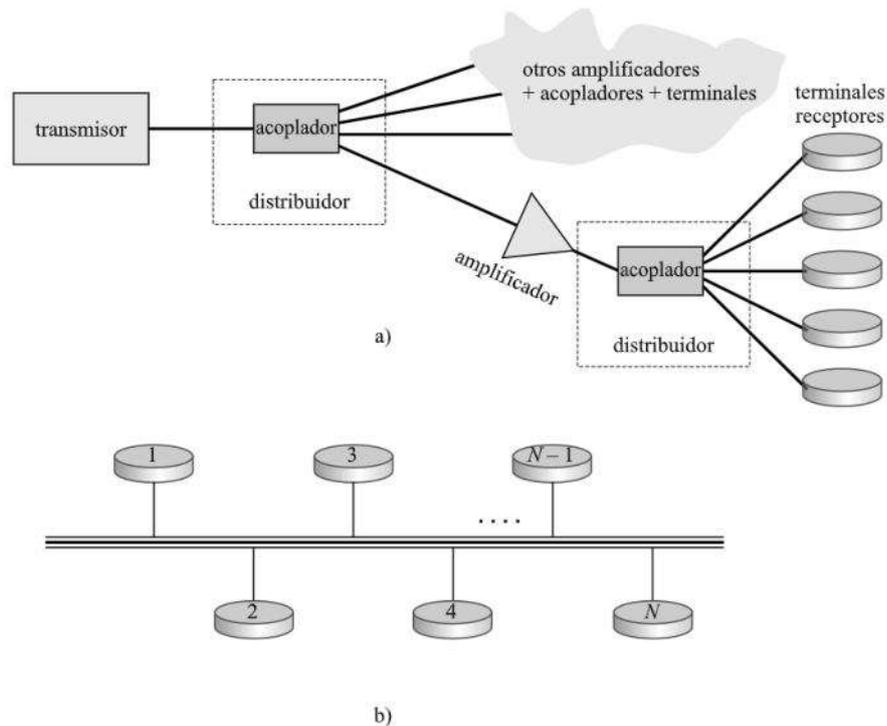


Figura 2.12: Red de distribución: (a) topología en árbol para redes ópticas mediante *hubs* de distribución, (b) topología en bus [7]

Las dos topologías más frecuentes de estas arquitecturas aparecen en la figura 2.12. La primera figura 2.12(a) consiste en una serie de estaciones distribuidoras que varían desde acopladores simples $1 \times N$, que dividen la señal de entrada en N enlaces salientes idénticos, hasta *hubs* de distribución más complejos. Generalmente, se requieren amplificadores ópticos para aumentar la señal tras cada fase de distribución para asegurar niveles óptimos. La figura 2.12(b) muestra una topología de bus tradicional donde varios terminales se conectan a un cable común. Esta estructura es común tanto en arquitecturas eléctricas como ópticas, siendo *Ethernet* en soporte eléctrico un ejemplo notable, utilizado principalmente en redes de área local. Un aspecto recurrente en estas arquitecturas es la necesidad de alta potencia debido a la distribución entre múltiples usuarios. Por lo general, son sistemas de transmisión unidireccionales, con pocos casos en que los terminales devuelven información al terminal principal. La elección del transmisor inicial es vital, ya que su fallo podría deshabilitar todo el sistema.

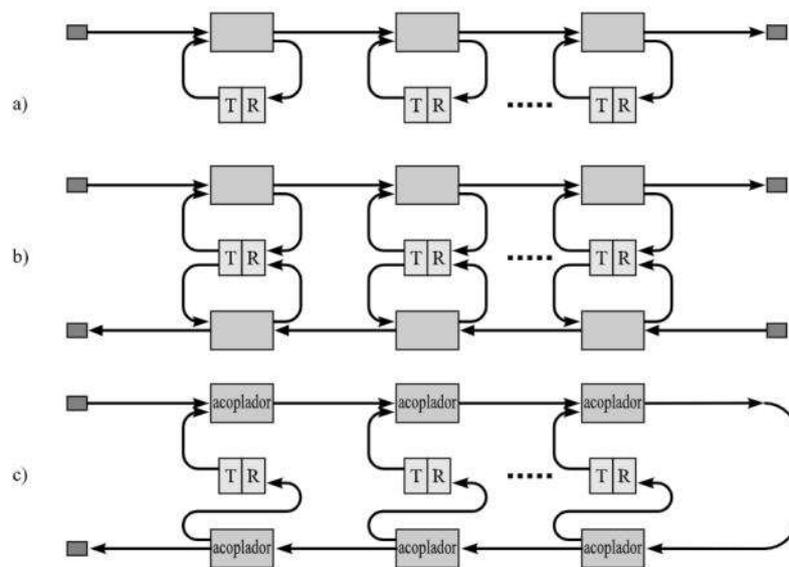


Figura 2.13: Modificaciones topología en bus: (a) simple, (b) doble, (c) en bucle [7]

La configuración de bus en aplicaciones ópticas puede variar respecto a la simple mostrada anteriormente. Las tres variaciones más comunes se ilustran en la figura 2.13. Todas emplean fibra óptica como medio físico de transmisión, pero difieren en la gestión del acceso a esta. En las configuraciones de bus único y bus doble, mostradas en la figura 2.13(a) y figura 2.13(b) respectivamente, utilizan acopladores 2×2 para el acceso.

2.1.14. Probabilidad de error

Tras analizar los distintos tipos de ruido presentes en un sistema de comunicaciones ópticas, es posible avanzar hacia el estudio de la probabilidad de que estos ruidos provoquen errores en la recepción de la señal. Existen varias metodologías para calcular dichos errores, siendo una de las más comunes el envío de una cantidad significativa de bits de información durante un período definido (t), y luego observar el número de errores recibidos. La relación entre la cantidad de errores detectados y el total de bits transmitidos, ya sean unos o ceros, se denomina tasa de error o **BER**. El valor de **BER** se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{BER} = \frac{N_e}{N_t} = \frac{N_e}{bt} \quad (2.3)$$

Donde:

$$b = \frac{1}{T_b} \quad (\text{la velocidad de transmisión de bits por unidad de tiempo})$$

El **BER** típico en sistemas de comunicaciones convencionales es aproximadamente 10^{-9} y en condiciones ideales, se necesitarían alrededor de 21 fotografías por fotodetector para recibir un bit de información. Sin embargo, éste es un límite teórico. En la práctica, el **BER** real suele ser superior. Por lo tanto, el foco de esta sección será analizar los casos con dispositivos reales que operan más allá de este límite fundamental.

2.1.15. Diagrama de ojo

La presencia tanto de información original como de interferencias en las señales que alcanzan el receptor subraya la importancia de evaluar su calidad. Aunque el análisis del nivel de ruido ofrece una medida cuantitativa de la probabilidad de error y, por lo tanto, de la calidad del sistema, resulta beneficioso contar con métodos más cualitativos y directos para verificar el comportamiento de la transmisión. Un enfoque frecuente para esta evaluación es el uso del diagrama de ojo, una técnica aplicada tanto en este ámbito como en otros sistemas de comunicación para inspeccionar la calidad de la señal. El uso del diagrama de ojo involucra el envío de una secuencia aleatoria de pulsos, replicando la transmisión real, a través del sistema. Estos pulsos, producidos por un generador utilizado también en otras formas de comunicación, son capturados por un osciloscopio en el receptor. Considerando que la secuencia es aleatoria y utilizando el código NRZ, al observar un intervalo de bits de tiempo, las secuencias posibles se visualizan en la figura 2.14. La superposición de estas ocho secuencias de tres bits conforma el diagrama, que se muestra en la figura 2.15 [7].

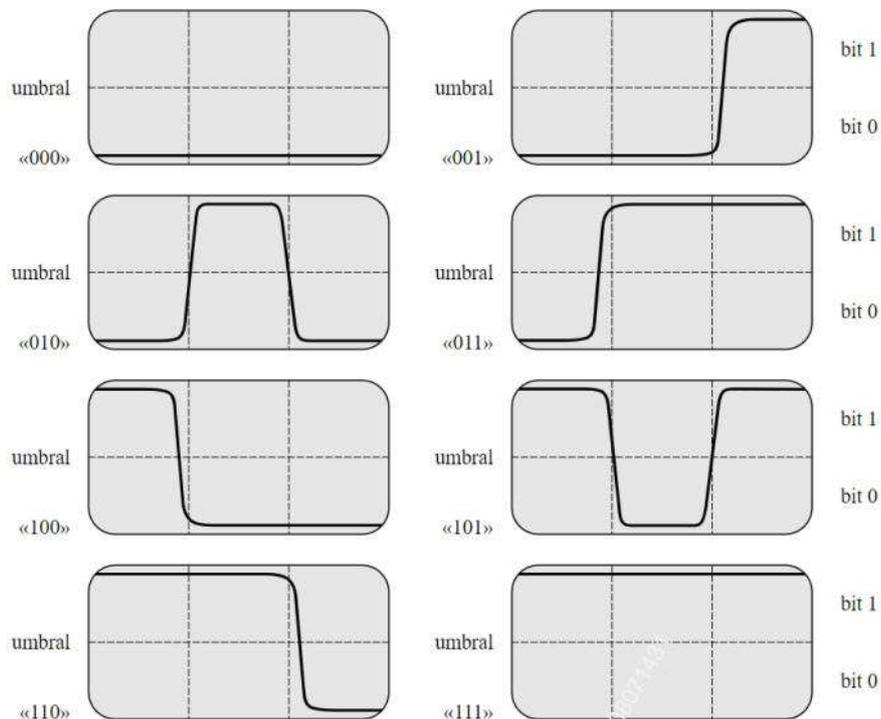


Figura 2.14: Combinaciones de bits enviadas para el registro de un diagrama de ojo [7]

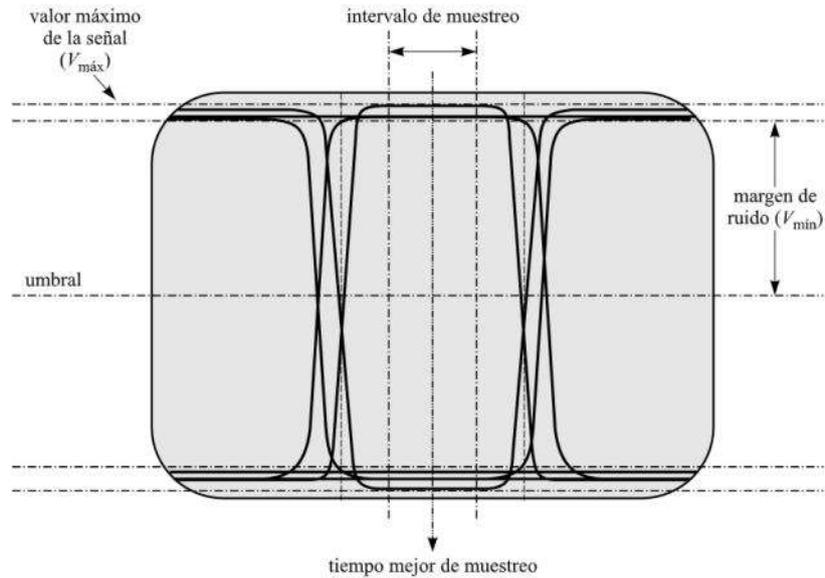


Figura 2.15: Diagrama de ojo [7]

Este diagrama revela características como las distorsiones en la amplitud y los tiempos de subida y bajada de la señal. La amplitud del ojo en el diagrama determina el periodo adecuado para muestrear la señal sin riesgo de *inter symbol interference* (ISI). El instante óptimo para el muestreo coincide con la máxima apertura del ojo, que se da en un segmento donde la señal permanece más horizontal. No obstante, en condiciones reales, este intervalo ideal puede reducirse a un momento fugaz, dificultando la distinción entre ceros y unos. La distancia desde la parte superior del ojo hasta el nivel máximo de la señal refleja la máxima distorsión posible.

2.1.16. Factores de diseño más relevantes

2.1.16.1. Balance de potencia

Durante la planificación de un enlace de fibra óptica, la potencia de transmisión emerge como un parámetro fundamental, ya que no solo afecta la claridad de la señal recibida sino también la selección de componentes y, por ende, los costos asociados. Si bien el foco de este análisis recae en la potencia, es crucial evaluar cómo esto podría influir en la selección de soluciones técnicas para el diseño del sistema. El análisis del balance de potencia en sistemas

ópticos de comunicaciones se realiza de manera similar a otros sistemas de comunicación, diferenciándose principalmente en los componentes específicos empleados. Los factores principales que inducen pérdidas de energía son la propia fibra óptica, los conectores, los empalmes y las interconexiones entre el emisor y la fibra y entre la fibra y el detector. Para enlaces que incluyen múltiples estaciones y acopladores, estos últimos también deben ser considerados. Es vital establecer un margen de seguridad que compense el envejecimiento de los componentes y futuros requisitos no anticipados en la fase de planificación. Este margen es indispensable para garantizar la longevidad y eficiencia del sistema a lo largo del tiempo, considerando la degradación potencial de la potencia del emisor y la necesidad de adaptación a nuevas exigencias.

Dado todos los factores anteriores, la expresión global que necesitaremos determinar tomará la forma:

$$P_e = P_r + P_f + P_{\text{emp}} + P_{\text{com}} + P_{\text{acop}} + M(\text{dB}) \quad (2.4)$$

Donde:

P_e : Potencia emitida por el emisor

P_r : Potencia recibida en el detector

P_f : Pérdidas en la fibra

P_{emp} : Pérdidas en los empalmes presentes

P_{com} : Pérdidas en los conectores

P_{acop} : Pérdidas en los acoplos

$M(\text{dB})$: Margen de seguridad expresado en decibelios

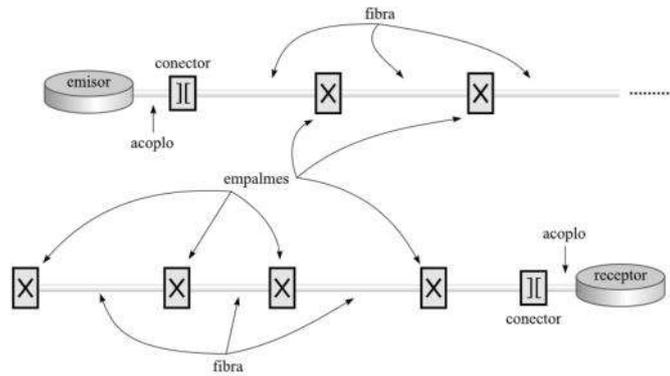


Figura 2.16: Diagrama de enlace de red con los componentes mecánicos principales [7]

2.1.17. FTTx

El término **FTTx** hace referencia a la topología en general, donde la conexión puede ser mixta o pura dependiendo generalmente del enlace de última milla. Viene del inglés fibra hasta la x, lo cual sugiere que la conexión en los primeros tramos o troncales son de redes ópticas, la letra x hace referencia al tipo de conexión secundaria o de última milla. En aplicaciones típicas de **FTTx**, la señal se transmite desde la OLT en una longitud de onda descendente de 1490 nm. **WDM** facilita una conexión ascendente de 1310 nm, permitiendo la transmisión bidireccional por la misma fibra. Tecnologías **PON** avanzadas como NG-PON2 y XGS-PON operan en longitudes de onda distintas para ofrecer flexibilidad de red.

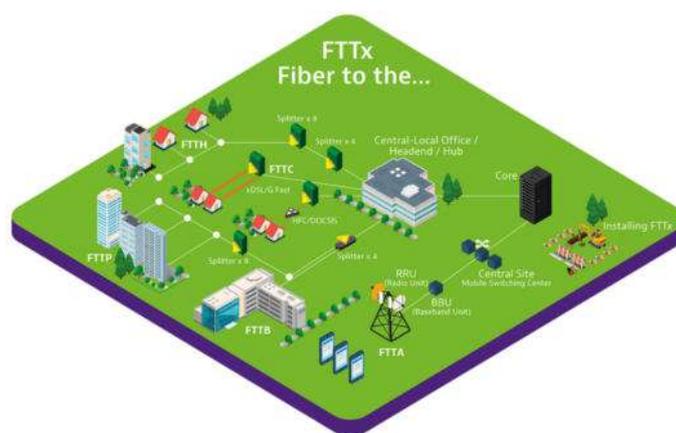


Figura 2.17: Topología FTTx [9]

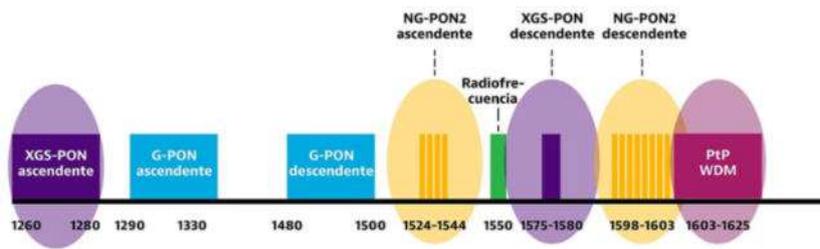


Figura 2.18: Longitud de onda PON [9]

- FTTA (*fiber to the antenna*): Esta arquitectura utiliza fibra óptica para conectar la unidad de banda base con un cabezal de radio remoto situado en lo alto de las torres de telefonía móvil, crucial para la implementación de 5G debido a su soporte para tecnología mimo masiva.
- FTTN (*fiber to the node*): En esta configuración, la fibra óptica llega hasta un nodo central, desde donde se utiliza una mezcla de cobre o coaxial para completar la conexión hasta los usuarios finales, sirviendo a cientos de clientes desde un único punto.
- FTTC (*fiber to the cabinet*): Similar a FTTN pero con un alcance más corto, esta configuración implica la llegada de fibra óptica a un gabinete o caja cerca de los usuarios, limitando el uso de cable coaxial o de cobre para finalizar la conexión.
- FTTH (*fiber to the home*): Ofrece la conexión de fibra óptica directamente a las viviendas, proporcionando el máximo ancho de banda posible. Aunque su instalación puede ser costosa, es común en nuevas construcciones y no requiere cableado adicional para la electricidad [9].
- FTTB (*fiber to the building*): Se termina la fibra en un punto común dentro de un edificio, no necesariamente un hogar privado, lo que puede referirse a empresas o áreas comunes en viviendas multifamiliares, facilitando la expansión de la red dentro de estructuras más grandes.

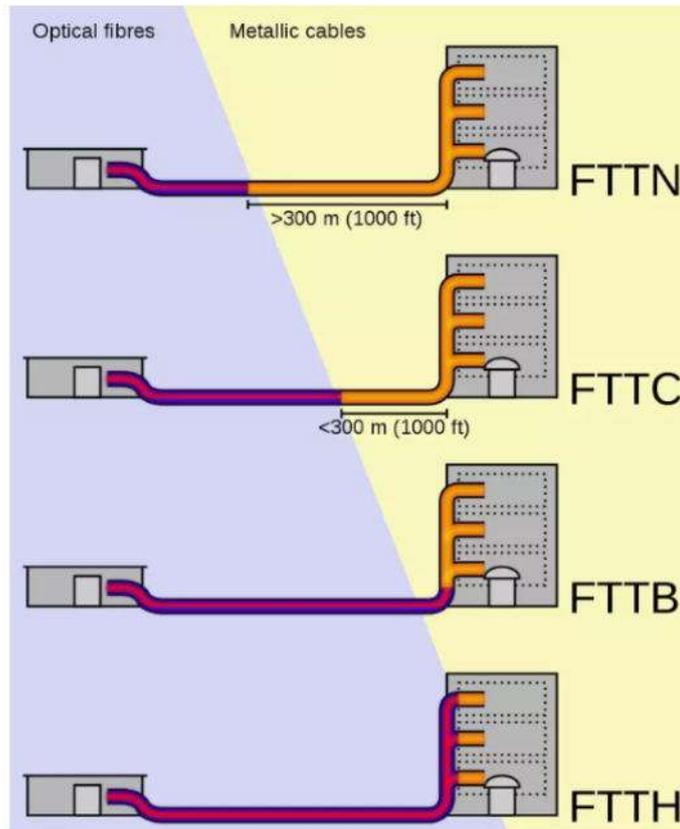


Figura 2.19: Enlaces FTTx [10]

2.1.18. Redes ópticas pasivas

- GPON (*Gigabit passive optical network*): Proporciona velocidades de hasta 2.48 Gbps de bajada y 1.24 Gbps de subida, utilizando una infraestructura que puede soportar configuraciones de fibra única o múltiple.
- XG-PON (*10 Gigabit capable passive optical network*): Ofrece 10 Gbps simétricos, mejorando las capacidades para aplicaciones empresariales y de *backhaul* móvil. Permitiendo una actualización económica desde GPON.
- NG-PON2 (*Next generation passive optical network 2*): Alcanza velocidades de hasta 40 Gbps, ampliables a 80 Gbps, ofreciendo una solución de banda ancha excepcionalmente alta que soporta múltiples longitudes de onda y redes definidas por *software*.

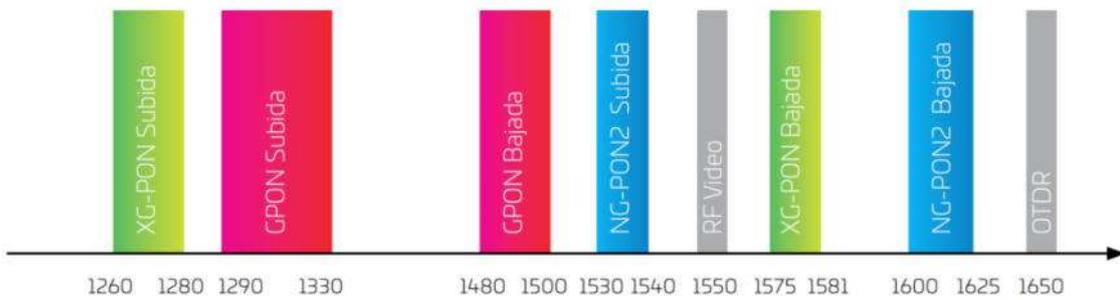


Figura 2.20: Espectro NG-PON2 [11]

- WDM PON (*wavelength division multiplexing passive optical network*): Aunque no está estandarizado globalmente, esta tecnología proporciona 10 Gbps simétricos y permite distintas velocidades y protocolos por longitud de onda.
- GEAPON (*Gigabit Ethernet passive optical network*): Basada en *Ethernet*, ofrece velocidades de 1 a 10 Gbps de manera simétrica, siendo una solución escalable y flexible para gestionar redes densas y soportar una amplia gama de servicios.

2.2. Marco teórico normativo

En esta sección del marco teórico, se examinarán conceptos y definiciones que no sólo son fundamentales para el entendimiento de la temática tratada, sino que además poseen un carácter legal vinculante. Cada término aquí discutido se sustenta en disposiciones específicas encontradas en leyes y códigos vigentes en Perú. Este enfoque asegura una interpretación y aplicación precisas de los términos conforme al marco legal peruano. Por tanto, las definiciones y conceptos presentados se extraen exclusivamente de la normativa peruana, citando de manera precisa los artículos y documentos legales pertinentes. Esta meticulosa selección de fuentes normativas proporciona una base sólida y autorizada para la comprensión de las regulaciones y requisitos legales aplicables al diseño y despliegue de redes de fibra óptica, asegurando que el estudio se alinee con los estándares regulatorios nacionales.

2.2.1. Marco legal y constitucional para las iniciativas de ley

En el proceso de formulación de propuestas legislativas en Perú, es imperativo considerar el conjunto de normativas que las rigen. Entre estos se incluyen:

- La Constitución Política del Perú, que establece los principios fundamentales.
- El reglamento del congreso de la república, que detalla los procedimientos internos del legislativo.
- La ley 26889, conocida como la ley marco para la producción y sistematización legislativa, promulgada el 10 de diciembre de 1997.
- El decreto supremo N° 007-2022-JUS, que ratifica el reglamento para la citada ley marco.
- La tercera edición del manual de técnica legislativa, validado por el acuerdo de la mesa directiva 106-2020-2021/MESA-CR.
- La cuarta edición de la guía de técnica legislativa proporcionada por el ministerio de justicia y derechos humanos.

- Una guía específica para la presentación de iniciativas legislativas, desarrolladas por el poder judicial.
- Los principios del derecho consuetudinario parlamentario, que incluyen antecedentes, precedentes, prácticas y costumbres.

Estos documentos y directrices son esenciales para asegurar que las propuestas legislativas se alineen con los requisitos legales y constitucionales vigentes.

2.2.2. Estructura jerárquica normativa peruana

El modelo de la pirámide de Kelsen, ideado por el jurista Hans Kelsen, establece una estructura jerárquica para las normas jurídicas. Según este modelo, las leyes se organizan en distintos estratos, asegurando que cada estrato inferior se base y se alinee con las disposiciones de los estratos superiores. En la cima de esta pirámide se sitúa la constitución nacional, que es seguida por las leyes y decretos relevantes. A estos les siguen las regulaciones de los órganos administrativos, formando la base de la pirámide. Esta disposición garantiza que la coherencia y la validez legal se mantienen a través de todos los niveles de la legislación [47].



Figura 2.21: Pirámide de Hans Kelsen escenario peruano [12]

2.2.3. Desarrollo de normativas técnicas

2.2.3.1. Fundamentos de la formulación de normativas técnicas

- **Propósito de la ley:** El propósito de una ley clarifica la esfera de acción o los temas específicos que regula. Debe cumplir con los siguientes criterios:
 - **Concreción:** La ley debe fundamentarse en un análisis palpable y realista de la situación, evitando incorporar elementos ajenos o irrelevantes.
 - **Factibilidad:** La ley necesita ser factible tanto en términos prácticos como legales, asegurando su implementación efectiva.
 - **Singularidad:** El alcance de la ley debe ser específico y limitado a un único tema, excluyendo cualquier elemento que solo tenga una conexión tangencial con el principal.
- **Objetivo de la ley:** El objetivo de una ley se refiere al fin que se pretende alcanzar mediante su implementación. Idealmente, este objetivo debe alinear y potencialmente amplificar uno o más derechos fundamentales de los ciudadanos.
- **Contenido de la ley:** El contenido de la ley encapsula la normativa aplicable al objeto legislativo. Éste incluye la parte sustantiva o dispositiva, que articula la aplicación práctica de la ley. El contenido debe ser claro, factible, único y sus consecuencias predecibles, para facilitar su aplicación y comprensión.
- **Correspondencia entre propósito, contenido y objetivo:** Es esencial que exista una coherencia integral entre el propósito, el contenido y el objetivo de la ley. Esta asegura que la ley funcione de manera efectiva en cumplir con su propósito y objetivos declarados, manteniendo su relevancia y eficacia dentro del marco legal. Este enfoque garantiza que la legislación no solo sea adecuada en teoría, sino efectiva en la práctica, alineada con los principios de justicia y equidad que fundamentan el sistema legal.

2.2.3.2. Criterios para la estructuración del contenido legal

El contenido de una ley debe cumplir con varios criterios esenciales para garantizar su eficacia y coherencia:

- **Homogeneidad:** Todas las disposiciones de la ley deben estar interrelacionadas y enfocarse exclusivamente en el objeto de la ley, evitando la incorporación de temas que no pertenezcan a su ámbito principal.
- **Completitud:** La ley debe abarcar completamente el tema que regula, eliminando la necesidad de legislación adicional. No obstante, en circunstancias excepcionales y cuando el tema lo requiera, puede otorgarse la autoridad a un reglamento para elaborar aspectos específicos necesarios para su implementación.
- **Unidad:** La ley debe constituirse como una entidad única e independiente, sin fragmentaciones ni dependencias externas.
- **Coherencia formal:** Esta se relaciona con la uniformidad terminológica dentro del texto legal, utilizando consistentemente los mismos términos para conceptos idénticos y evitando cualquier ambigüedad.
- **Coherencia material:** Se enfoca en la estructura lógica de la ley, asegurando que no existan redundancias ni contradicciones internas. Ambas formas de coherencia son complementarias y críticas para la claridad legislativa.
- **Imparcialidad:** La ley debe ser objetiva, evitando inclinaciones o juicios subjetivos que podrían sesgar su aplicación.

Estos principios aseguran que la legislación no solo sea comprensible y accesible, sino también justa y aplicable de manera uniforme, contribuyendo a su legitimidad y aceptación general.

2.2.3.3. Atributos del contenido normativo

El contenido de cualquier legislación debe poseer ciertas cualidades esenciales que faciliten su aplicación y comprensión:

- **Claridad y sencillez:** El texto legislativo debe ser redactado utilizando un lenguaje claro y accesible, recurriendo a términos comunes para asegurar que cualquier persona pueda entenderlo sin dificultad.
- **Concisión y precisión:** La redacción de las disposiciones legales debe ser directa y economizar palabras. Este enfoque ayuda a que las leyes sean rápidamente comprensibles y elimina la necesidad de interpretaciones extensas o conocimientos especializados para su aplicación.

Estas características no solo mejoran la eficacia de la ley al hacerla más accesible para el público general, sino que también fortalecen el respeto y la adherencia a la misma, elementos fundamentales para el éxito de cualquier marco legal.

2.2.4. Glosario normativo

Este glosario normativo ha sido compilado para proporcionar una referencia clara y detallada de términos técnicos y definiciones utilizados en el diseño y la implementación de redes de telecomunicaciones. Las entradas seleccionadas se basan en el código nacional de electricidad y el reglamento nacional de edificaciones, específicamente refiriéndose a la normativa EC.040, que aborda las redes e instalaciones de comunicaciones. Este glosario tiene como objetivo facilitar la comprensión de las regulaciones vigentes y asegurar una implementación adecuada de las infraestructuras de telecomunicaciones en conformidad legal [48], [14] y [49].

- **Accesorios:** Incluyen elementos como curvas y uniones que facilitan la conexión de ductos, adaptándolos a la configuración deseada del sitio. Son esenciales para mantener la integridad y funcionalidad del sistema de conducción en instalaciones complejas.

- **Acometida:** Conexión física entre la caja o terminal de distribución y el equipo del abonado. Esta conexión es crítica para el rendimiento y la confiabilidad de la red, ya que actúa como el enlace final hacia el usuario final.
- **Armario de distribución:** Recinto utilizado para la interconexión entre el cable principal de alimentación y los cables que distribuyen señal a áreas locales. Este componente es clave para asegurar una distribución eficiente y confiable de los servicios dentro de una comunidad o urbanización.
- **Buzón de inspección y buzón de registro:** Instalaciones esenciales para el acceso y la gestión de la red subterránea, permitiendo inspecciones y mantenimientos sin la necesidad de excavaciones disruptivas, facilitando así la rapidez y eficiencia en la gestión de la red de fibra.
- **Cable de fibra óptica - comunicaciones:** Elemento vital en la construcción de redes de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica para transmitir datos a alta velocidad. Su capacidad para manejar grandes cantidades de datos y su inmunidad a las interferencias electromagnéticas lo hacen indispensable en sistemas modernos de comunicación.
- **Cable de fibra óptica - suministro:** Crítico en la integración de la fibra óptica en infraestructuras de suministro, facilitando una transmisión de datos confiable y eficiente en redes de servicio, lo que mejora la conectividad y el soporte para aplicaciones críticas.
- **Cable mensajero:** Utilizado para proporcionar soporte y protección mecánica a cables de fibra óptica, especialmente útil en instalaciones aéreas donde la resistencia a factores ambientales y mecánicos es crucial.
- **Cable subterráneo:** Fundamental para la instalación de redes ópticas en entornos urbanos, ofreciendo protección contra condiciones ambientales adversas y reduciendo el impacto visual en áreas con alta densidad de población.
- **Cabezal de acceso:** Instalación crucial en sistemas subterráneos que proporciona un punto de acceso conveniente para el mantenimiento de los conductores eléctricos y facilita la gestión eficiente de la infraestructura.

- **Caja de distribución:** Estructura que aloja terminales de distribución y equipamiento de red, proporcionando un entorno controlado para la conexión segura y organizada de líneas de acometida.
- **Cámara:** Estructura subterránea diseñada para albergar empalmes y dispositivos de conexión. Facilita el manejo y distribución de cables y es crucial para cambios de dirección y bifurcaciones en la red, mejorando la eficiencia y la accesibilidad durante el mantenimiento y las actualizaciones de la red.
- **Cámara de acometida:** Facilita la integración de la red subterránea privada con la infraestructura pública de telecomunicaciones, esencial para la expansión y mantenimiento de los servicios de telecomunicaciones en áreas urbanizadas.
- **Cámara o bóveda (para transformador o equipo eléctrico):** Diseñada para albergar equipos críticos en entornos protegidos, ofreciendo seguridad y condiciones controladas para equipamiento sensible, especialmente en ubicaciones subterráneas.
- **Canalización:** Conjunto de ductos que enlazan infraestructuras de red como cámaras, armarios y cajas de distribución, fundamentales para la organización y protección del cableado en el diseño de redes de telecomunicaciones.
- **Canaleta con tapa para cables:** Solución efectiva para la organización y protección de cables dentro de instalaciones, proporcionando facilidades para la instalación y el mantenimiento continuo, así como protección contra daños físicos y ambientales.
- **Circuito de comunicación y circuito de control:** Conjuntos de circuitos especializados que manejan respectivamente las señales de comunicación y las de control en una red de telecomunicaciones. Son esenciales para la coordinación eficiente y la gestión de las operaciones de la red, permitiendo una comunicación fluida y un control preciso sobre los diferentes componentes del sistema.
- **Diámetro nominal:** Medida estándar utilizada para especificar el tamaño de ductos y accesorios. Facilita la selección y compatibilidad de componentes dentro de la infraestructura de telecomunicaciones.

- **Ducto:** Estructura cerrada que proporciona un camino protegido para los cables y conductores, crucial para la protección y organización del cableado en infraestructuras tanto subterráneas como aéreas.
- **Empalme:** Proceso técnico de unir dos o más cables para extender o reparar líneas de comunicación. Esta técnica es vital para mantener la integridad y continuidad de las redes de telecomunicaciones.
- **Infraestructura de telecomunicaciones:** Conjunto integral de componentes físicos y tecnológicos que forman la base del sistema de comunicaciones, incluyendo cables, estaciones, terminales y otros dispositivos necesarios para el envío y recepción de información.
- **Inspector o fiscalizador y autoridad competente:** Roles encargados de garantizar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplan con las regulaciones y estándares de seguridad y eficiencia, asegurando que las prácticas de instalación y operación sean adecuadas y seguras.
- **Líneas de comunicaciones:** Denotan los elementos físicos fundamentales que facilitan la transmisión de datos y señales en el ámbito de las telecomunicaciones. Estos componentes son cruciales para establecer y mantener conexiones efectivas en diversas tecnologías de red.
- **Planta externa:** Refiere al conjunto de infraestructuras y equipamientos ubicados fuera de las instalaciones principales del operador, incluyendo cables, postes, ductos y dispositivos hasta la terminal de distribución. Se clasifica en dos tipos; en el primero, el sistema es aéreo, con elementos montados sobre postes o estructuras elevadas, mientras que en el segundo, es subterráneo, con componentes instalados en canales subterráneos como cámaras y ductos, lo que ofrece protección y discreción visual.
- **Postes:** Estructuras verticales que soportan los cables de las redes aéreas de telecomunicaciones. Son vitales para la distribución y el mantenimiento del cableado en áreas extensas, ofreciendo un método de instalación visible y accesible para inspecciones y reparaciones.

- Sistema de alambrado prefabricado: Sistema diseñado para optimizar la instalación de infraestructuras eléctricas y de telecomunicaciones, proporcionando componentes estandarizados y prefabricados que reducen el tiempo de instalación y mejoran la consistencia y calidad de las redes.
- Sistema de comunicación: Conjunto de tecnologías y componentes estructurales que facilitan la transmisión y recepción de datos y voz a través de una red de telecomunicaciones. Este sistema integra diversos subsistemas y tecnologías para garantizar una comunicación efectiva y confiable entre los usuarios.

2.2.5. Categorización y definición de los servicios de telecomunicaciones en el Perú

Con el fin de tener un sondeo general de todos los servicios existentes nos basaremos en el marco regulatorio establecido por la ley general de telecomunicaciones en Perú. Según este documento, los servicios de telecomunicaciones se dividen principalmente en cuatro categorías, que incluyen servicios portadores, teleservicios, servicios de radiodifusión y servicios de valor añadido. Estas categorías pueden tener una división general en servicios de carácter público, privado, y una categoría especial conocida como privado de interés público. La comprensión de la clasificación de los servicios en su marco regulatorio es primordial para entender la jurisdicción del proyecto.

Estas definiciones presentadas tienen un carácter legal, ya que se encuentran formalmente establecidas en la legislación correspondiente [28].

- Para los servicios públicos: La normativa especifica que aquellos servicios accesibles por el público en general, los cuales se ofrecen sin discriminación a cambio de una tarifa, entran en la clasificación de servicios públicos. Esto se fundamenta en los principios de libre competencia y las dinámicas de oferta y demanda. Los servicios portadores se identifican principalmente como públicos, pero los teleservicios, servicios de radiodifusión y de valor añadido también pueden tener otra clasificación.

- Para los servicios privados: La ley señala que son aquellos servicios que una entidad, ya sea persona natural o jurídica, provee exclusivamente para satisfacer sus propias necesidades de telecomunicaciones dentro del país. Se subraya que un servicio no se cataloga como privado si se ofrece a terceros a cambio de un pago, ya sea de manera directa o indirecta. Los teleservicios, servicios de radiodifusión y de valor añadido tienen la posibilidad de ser clasificados como servicios privados bajo ciertas condiciones.
- Los servicios privados de interés público: Son una categoría que incluye servicios que, pese a ser provistos por entidades privadas, cumplen con funciones relevantes para el público en general, como lo son las emisiones de radio y televisión.

Esto es una clasificación general de todos los servicios que engloba las telecomunicaciones en Perú, con todas sus modalidades y criterios. Como se mencionó anteriormente según la normativa poseen una clasificación con las definiciones de cada una de ellas. Cabe mencionar que cada definición representa un artículo del reglamento mencionado el cual nos ceñiremos a esta, puesto que la naturaleza del presente proyecto de tesis lo requiere [50].

2.2.5.1. Servicios de portadores

Los servicios portadores son aquellos que usan la infraestructura de los sistemas portadores, estos sistemas abarcan todos los medios de envío y conmutación, formando una red accesible tanto a nivel nacional como internacional, con el propósito de ofrecer una capacidad y calidad adecuadas para el manejo de señales de telecomunicaciones y la interconexión de servicios públicos de telecomunicaciones. La interconexión entre redes de diferentes operadores en una misma zona urbana se sujeta a acuerdos entre las entidades operadoras. Los servicios portadores proveen la capacidad esencial para el manejo y enrutamiento de señales comunicativas, sirviendo como vínculo principal entre diferentes servicios y redes de telecomunicaciones. Las señales manejadas deben adherirse a las normativas técnicas nacionales establecidas por el ministerio correspondiente. Proporcionan los medios esenciales para el envío de señales que facilitan la entrega de otros servicios, incluidos aquellos de difusión y añadidos. Fundamentales como apoyo, las redes de transmisión son la base sobre la cual

operan todos los demás servicios, sin habilitar directamente la comunicación entre usuarios finales [51].

Tipos de redes utilizadas por su modalidad los servicios portadores:

- Redes conmutadas: Incluyen servicios de conmutación de datos, circuitos, servicios telefónicos y télex, conectando puntos de terminación de la red.
- Redes no conmutadas: Abarcan servicios de arrendamiento de circuitos, ya sean punto a punto o multipunto, facilitando la conexión sin la necesidad de conmutación.

Clasificación de los servicios portadores por su área de acción:

- Locales: Ofrecen la capacidad de manejar señales de telecomunicaciones e interconectar redes y servicios dentro de una misma área local, tanto para operadores públicos como privados.
- Larga distancia nacional: Facilitan el transporte e interconexión de señales y redes de telecomunicaciones a lo largo del territorio nacional.
- Larga distancia internacional: Proveen la capacidad para manejar señales de telecomunicaciones que se originan o terminan en el país, extendiéndose hacia o desde el exterior.

2.2.5.2. Teleservicios

Los teleservicios, identificados igualmente como servicios finales, constituyen aquellos que habilitan la comunicación directa entre usuarios finales, tal como los servicios de telefonía fija y móvil. Se ha mencionado previamente que estos pueden ser catalogados tanto públicos como privados, y dependiendo de su modalidad operativa, pueden ser distinguidos como fijos o móviles[51].

El servicio fijo se refiere a aquel suministrado a través de redes o sistemas establecidos en ubicaciones permanentes. Dentro de esta categoría, los teleservicios se diversifican en:

- Fijo terrestre: Se refiere a los servicios proporcionados por estaciones terminales y sistemas ubicados en sitios fijos en tierra.
- Fijo aeronáutico: Este servicio se suministra mediante estaciones terminales situadas en aeropuertos para gestionar tráfico de datos relacionados con la navegación aérea, así como la planificación y seguridad de vuelos, además de información sobre cargas y pasajeros entre otros datos relevantes al ámbito aeroportuario.
- Fijo por satélite: Denota a la radiocomunicación entre estaciones terrestres fijas a través de uno o más satélites, incluyendo en ocasiones enlaces entre satélites.

Por otro lado, el servicio móvil se caracteriza por ser proporcionado por estaciones radioeléctricas fijas que interactúan con estaciones móviles y portátiles, clasificándose en:

- Móvil terrestre: Este servicio conecta estaciones base con móviles terrestres o entre móviles de un mismo sistema. En casos particulares, puede ofrecerse directamente entre estaciones móviles portátiles dentro de un área limitada, con una potencia máxima de cinco vatios.
- Móvil aeronáutico: Implica la comunicación entre estaciones fijas aeronáuticas y móviles o portátiles en aeronaves, ya sea en vuelo o durante maniobras en aeropuertos, así como la interacción con el personal aeroportuario encargado del control de tráfico aéreo.
- Móvil marítimo: Ofrece radiocomunicación entre estaciones costeras y embarcaciones de cualquier tipo, incluyendo apoyo a través de estaciones portátiles, facilitando la comunicación en mares, lagos y ríos.
- Móvil por satélite: Conecta estaciones terrenas móviles con estaciones espaciales o entre ellas, permitiendo la comunicación móvil a través de estaciones espaciales.

La siguiente estructuración y subclasificación detallada de los teleservicios refuerza la comprensión sobre cómo se organizan estos servicios dentro del marco de telecomunicaciones, contribuyendo a una mejor apreciación de las dinámicas económicas de los servicios públicos y privados.

Los teleservicios públicos se clasifican como:

1. Servicio telefónico: Facilita conversaciones telefónicas bidireccionales en tiempo real mediante la red de telecomunicaciones. En cuanto a los alcances el otorgamiento de la concesión permite al concesionario brindar el servicio a través de subcontratistas.
 - a. Clasificación según su prestación:
 - Fijo: También conocido como básico, opera mediante una red estacionaria, usando tecnología alámbrica, óptica o radioeléctrica.
 - Móvil: Funciona a través de ondas radioeléctricas en frecuencias asignadas, con dispositivos portátiles operativos dentro del área de cobertura de la operadora, organizada en células.
 - b. Según su ámbito de prestación:
 - Local: Comunicación dentro de un área local definida geográficamente.
 - Nacional de larga distancia: Comunicación a lo largo del territorio nacional.
 - Internacional de larga distancia: Comunicación desde Perú hacia el exterior.
 - c. Según su modalidad de servicios:
 - Abonados: Basado en un contrato entre el concesionario y el usuario.
 - Públicos: Incluye teléfonos fijos y móviles públicos.
2. Servicio télex: Transmisión de textos codificados entre usuarios a través de una red télex.
3. Servicio telegráfico (telegrama): Envío de mensajes escritos para entrega física al destinatario.
4. Servicio de buscapersonas:
 - a. Unidireccional: Recepción de avisos por radio.
 - b. Bidireccional: Recepción y envío de avisos y mensajes corto.
5. Servicio móvil troncalizado: Comunicación de voz y datos, tanto individual como grupal, mediante asignación automática de canales de radiocomunicación.

6. Servicio de conmutación para transmisión de datos: Comunicaciones de datos entre equipos a través de una red dedicada.
7. Servicio multimedios: Ofrece servicios convergentes de telecomunicaciones, informática y audiovisuales.
8. Servicio de comunicaciones personales: Telecomunicaciones móviles a través de un dispositivo asociado al usuario dentro de un área concedida.
9. Servicios móviles por satélite: Utiliza terminales portátiles y satélites para telecomunicaciones móviles.
10. Servicio móvil de datos marítimo por satélite: Transmisión de datos marítimos, incluyendo localización de embarcaciones, a través de satélites.
11. Otros servicios: Definidos así por resolución ministerial.

Los teleservicios privados se clasifican como:

1. Medios alámbricos u ópticos: Incluye fibra óptica.
2. Radiocomunicación privada:
 - a. Fijo privado y móvil privado: Servicios prestados a través de estaciones fijas o móviles.
 - b. Troncalizado, radionavegación, canales ómnibus, radioaficionados: Variedad de servicios para comunicación, navegación y entretenimiento.
 - c. Espacial, exploración de la tierra por satélite, entre otros: Comunicaciones mediante vehículos espaciales, observación terrestre y otros servicios definidos por el ministerio.

2.2.5.3. Servicios de difusión

Los servicios de transmisión unidireccional son servicios en los que la comunicación fluye en una única dirección, llegando a múltiples destinatarios simultáneamente. Dentro de

esta categoría, los más destacados incluyen la distribución de señales de televisión a través de cable (comúnmente referida como televisión por cable), además de la televisión tradicional y la radio [51].

Sin embargo, para el propósito de este análisis, nos centraremos exclusivamente en la televisión por cable, dado que la radio y la televisión convencional están sujetas a regulaciones específicas bajo sus propias leyes. Los servicios de radiodifusión se categorizan de la siguiente manera:

1. Radiodifusión pública: Este tipo de servicio se refiere a la distribución de contenido de radiodifusión a través de cables o señales radioeléctricas, alcanzando desde canales múltiples a diversos receptores, e incluye también la distribución de música ambiental, a través de infraestructuras de telecomunicaciones dedicadas a tal fin. Dentro de este servicio, encontramos:
 - a. Distribución de radiodifusión por cable, que puede ser mediante:
 - Cable alámbrico u óptico
 - Sistemas de distribución multicanal a múltiples puntos
 - Difusión directa por satélite
 - b. Distribución de música ambiental
 - c. Cualquier otro servicio designado por resolución ministerial del ministerio
2. Radiodifusión privada: Define el servicio creado por individuos o entidades para cubrir necesidades específicas de transmisión dentro de una zona delimitada, incluyendo el CCTV. Según el artículo 98 subtítulo II de la ley CCTV es una modalidad privada de difusión que transmite señales televisivas en banda base a través de medios físicos o señales radioeléctricas, usando frecuencias exclusivas.
3. Radiodifusión de interés público privado: Su distintivo radica en estar dirigido a la captación directa por el público general, pudiendo ser en formatos tanto sonoros como televisivos.

2.2.5.4. Servicios de valor añadido

Los servicios de valor añadido se caracterizan por aprovechar los servicios básicos de telecomunicaciones, como los portadores, finales y de difusión, incorporando funcionalidades o características adicionales que enriquecen la oferta inicial. Estos servicios pueden ser desarrollados y ofrecidos tanto por individuos como por organizaciones, cumpliendo siempre con las normativas vigentes [52].

Entre los servicios de valor añadido se incluyen:

- Facsímil: Servicio que permite el envío y recepción de documentos por fax, incluyendo la conversión de imágenes a texto y viceversa.
- Videotex: Ofrece interactividad para visualizar textos y gráficos a través de una red, accesible desde el hogar del usuario.
- Teletex: Proporciona difusión de información textual a múltiples usuarios, como noticias y datos financieros.
- Teletexto: Inserta información textual en la señal televisiva, distribuida mediante la radiodifusión.
- Teleacción: Utiliza mensajes cortos a velocidades de transmisión bajas para la comunicación entre el usuario y la red.
- Telemando: Permite controlar sistemas a distancia para ajustar su funcionamiento.
- Telealarma: Genera señales hacia un centro de control cuando un sistema supervisado se desvía de parámetros normales.
- Almacenamiento y retransmisión de datos: Facilita el intercambio de mensajes en diferido a través de la red pública.
- Teleproceso y procesamiento de datos: Permite el procesamiento y el intercambio de datos a distancia.

- Mensajería interpersonal: Envío y recepción de mensajes mediante diversas técnicas de almacenamiento y retransmisión.
- Mensajería de voz: Transmite mensajes verbales a uno o varios números telefónicos.
- Servicio de consulta: Acceso interactivo a bases de datos, con control del usuario sobre la secuencia de información.
- Conmutación de datos por paquetes: Divide señales de datos en paquetes sin necesidad de redes propias, excluyendo el tráfico de voz en tiempo real.
- Suministro de información: Distribuye información recabada a través de servicios de radiocomunicación.
- Otros definidos mediante resolución ministerial.

Estos servicios amplían el espectro de posibilidades dentro del ámbito de las telecomunicaciones, respondiendo a las necesidades emergentes de comunicación e información de los usuarios, siempre bajo el marco regulatorio aplicable [52].

Basándose en el reglamento nacional de edificaciones y en el código nacional de electricidad de Perú (utilización y suministro), se establecen los elementos fundamentales que permiten el desarrollo y la implementación de una infraestructura de telecomunicaciones efectiva [53],[48] y [14].

Capítulo 3

Análisis del marco regulatorio

La integración de infraestructuras de telecomunicaciones de fibra óptica en entornos patrimoniales, particularmente en el **CHC**, presenta retos que exigen una armonización entre la innovación tecnológica y la conservación del patrimonio cultural. Este capítulo aborda el marco regulatorio aplicable, tanto a nivel nacional como internacional, para identificar oportunidades y restricciones inherentes a proyectos de esta naturaleza.

Se inicia con un análisis de la situación actual de las telecomunicaciones de fibra óptica en el **CHC**, evaluando las infraestructuras existentes y los servicios que proporcionan. Este estudio preliminar sienta las bases para entender las necesidades específicas de conectividad en el área y cómo estas se interrelacionan con las normativas de preservación patrimonial. Posteriormente, se examina detenidamente la legislación relevante, abarcando desde leyes y decretos hasta ordenanzas que impactan tanto el despliegue tecnológico como la protección cultural. Este análisis comprensivo busca destacar las sinergias y tensiones entre la expansión de la infraestructura de telecomunicaciones alámbricas y las regulaciones de conservación, proporcionando un panorama claro de su viabilidad normativa. Con base en este análisis, el capítulo avanza hacia la propuesta de un perfil normativo que equilibre eficazmente las demandas técnicas con las obligaciones de conservación patrimonial. La intención es ofrecer un marco que no solo permita la modernización de la infraestructura de telecomunicaciones de manera sostenible, sino que también respete el legado cultural del **CHC**.

Este esfuerzo busca cerrar las brechas identificadas, delineando un camino hacia una coexistencia beneficiosa y armónica de la tecnología y el patrimonio. Este perfil incluirá parámetros clave, estructuras normativas propuestas, y directrices para adaptaciones futuras, asegurando la continuidad y el respeto por el patrimonio en el diseño y la implementación de redes ópticas.

3.1. Estudio de la situación actual de las telecomunicaciones de fibra óptica del CHC

3.1.1. Servicios de telecomunicaciones en el CHC

Las operaciones de las empresas de telecomunicaciones, tanto públicas como privadas en el país, se rigen por el reglamento general de la ley de telecomunicaciones, consolidado en un documento normativo esencial. Dicho reglamento detalla los diversos tipos de servicios de telecomunicaciones y establece una clasificación específica para cada uno. Dada la rápida evolución de la tecnología, este marco normativo está diseñado para ser adaptable, permitiendo actualizaciones periódicas que reflejen los avances tecnológicos y las necesidades emergentes del sector. En los últimos años, se ha observado un notable aumento en la implementación de redes de fibra óptica en el CHC. Según informes de medios especializados, como el portal de Movistar, se proyectó que para 2023 la expansión de la cobertura de estos servicios se incrementara significativamente, con un enfoque particular en el CHC, lo que indica un esfuerzo por generalizar el acceso a las redes de fibra óptica. No obstante, es importante mencionar que el crecimiento de estos servicios a menudo conlleva la migración de clientes entre proveedores, lo que resulta en el abandono y desuso de la infraestructura de cable existente. La gama de servicios que incorporan la fibra óptica, ya sea en su totalidad o en parte, será detallada y definida en secciones subsecuentes, proporcionando una visión clara de la infraestructura en uso [54].

Para realizar un análisis detallado y efectivo, es crucial entender con precisión los servicios disponibles en el **CHC** de acuerdo al texto único ordenado de la ley de telecomunicaciones. Esta comprensión nos permitirá evaluar adecuadamente el alcance, la escala y la jurisdicción de la infraestructura de telecomunicaciones presente en la zona en su marco regulatorio.

3.1.2. Infraestructura de los servicios que usan fibra óptica

Tras realizar las definiciones de los diversos servicios de telecomunicaciones expuestas en el marco teórico normativo presentado en el capítulo 2 del presente trabajo, nuestro enfoque se centrará en el análisis del papel que desempeña la fibra óptica en cada uno de estos servicios.

Luego, en particular, se examinará su implementación y viabilidad futura específicamente en el contexto del **CHC**. A través de una serie de tablas basadas en el texto único ordenado de telecomunicaciones, evaluaremos la presencia y potencial de la fibra óptica en estos servicios.

La clasificación y análisis sobre la disponibilidad de la fibra óptica para cada servicio se basan en la estructura legal de texto único ordenado de la ley de las telecomunicaciones.

Es importante destacar que, en la era moderna, la fibra óptica forma parte integral, ya sea total o parcialmente, de prácticamente todos los servicios de telecomunicaciones.

Un ejemplo claro de ello es la infraestructura de telefonía móvil, donde la mayoría de las estaciones base se conectan mediante fibra óptica.

No obstante, este aspecto no se considera en el análisis, dado que no se le atribuye un papel protagónico. De acuerdo a este ejemplo procederemos con el análisis y descarte:

- En el caso de los servicios portadores, este estudio presupone el uso de redes ópticas, dadas sus características y considerando su relevancia en el desarrollo futuro de tecnologías avanzadas.

- Para los teleservicios públicos, diferenciamos claramente entre servicios móviles, considerados no aptos para la implementación de fibra óptica, y los servicios fijos, donde sí se ve viable su uso.

Dada la naturaleza y el alcance de los teleservicios públicos fijos, su compatibilidad con la infraestructura de fibra óptica se considera no solo pertinente, sino también estratégicamente beneficiosa.

La persistencia de una tendencia entre numerosos operadores de telecomunicaciones hacia la oferta de paquetes integrados o "tríos", que incluyen servicios de telefonía fija junto con internet y televisión, subraya la relevancia de estas redes [55].

Estos paquetes suelen ejecutarse para optimizar el uso de redes híbridas, que combinan la fibra óptica con otras tecnologías, con el fin de maximizar la eficiencia del servicio y aumentar sus beneficios económicos.

Esta práctica refleja una clara intención de los proveedores de servicios de seguir invirtiendo en la mejora de la infraestructura existente y de expandir la cobertura de la fibra óptica.

Por lo tanto, esta tendencia justifica la inclusión de los teleservicios públicos fijos en nuestra evaluación, considerando su disponibilidad para el despliegue de fibra óptica en el contexto de nuestro análisis.

- Los teléfonos públicos, tanto móviles como fijos, están quedando obsoletos en Perú. Ana Claudia Quintanilla, ejecutiva de Telefónica del Perú, reportó en el portal La República que actualmente hay unos 32 000 teléfonos públicos activos en el país.

Aunque se mantienen activos por obligaciones regulatorias, hay una tendencia global hacia su eliminación debido a su baja utilización [56].

Una encuesta realizada en 2022 por Erestel reveló que solo el 1.9% de la población peruana utiliza los teléfonos públicos, y este porcentaje continúa disminuyendo con el tiempo.

El 90% de las personas encuestadas argumentan que no utilizan estos servicios porque no los necesitan o porque ya cuentan con telefonía móvil. En este contexto, incluir la fibra óptica en el análisis de estos servicios no sería relevante [57].

- Al abordar los servicios de radiodifusión, específicamente el servicio de radiodifusión público de distribución por cable vemos casos particulares como el sistema de distribución multicanal multipunto, se destaca que, aunque inicialmente no dependía de la fibra óptica para su distribución al consumidor, las configuraciones actuales pueden incorporar esta tecnología para enlazar estaciones base con la red principal, optimizando así la transmisión de datos.

No obstante, basándonos en la clasificación legal peruana y el análisis inicial, concluimos que la fibra óptica no se considera aplicable para el sistema de distribución multicanal multipunto en nuestro contexto de estudio [58].

- Usando el mismo argumento del ítem anterior, descartamos los servicios de radiodifusión público de distribución por cable en su modalidad difusión directa por satélite.
- En relación con los servicios de valor añadido como el facsímil, videotex, teletex y teletexto consideramos técnicamente obsoletos puesto que su infraestructura base en la que fue forjada inicialmente, no posee fibra óptica y en segundo lugar, el servicio como tal es poco probable que pueda ser repotenciado con fibra óptica más adelante considerando nuevas y mejores tecnologías.

Es así que tenemos el análisis de los servicios de telecomunicaciones de acuerdo su normativa disponibles para fibra óptica:

Tabla 3.1: Análisis de disponibilidad de servicios en fibra óptica parte 1

Clasificación general	Criterio	Subcriterio	Disponibilidad de conectividad por fibra óptica
Servicio portador	Por su modalidad	Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones conmutadas	Disponible
Servicio portador	Por su modalidad	Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones no conmutadas	Disponible
Servicio portador	Por su ámbito de acción	Portador local	Disponible
Servicio portador	Por su ámbito de acción	Portador de larga distancia nacional	Disponible
Servicio portador	Por su ámbito de acción	Portador de larga distancia internacional	Disponible
Teleservicio público	Por la forma en que se presta	Fijo	Disponible
Teleservicio público	Por la forma en que se presta	Móvil	No disponible
Teleservicio público	Por su ámbito de prestación	Local	Disponible
Teleservicio público	Por su ámbito de prestación	De larga distancia nacional	Disponible
Teleservicio público	Por su ámbito de prestación	De larga distancia internacional	Disponible
Teleservicio público	Según su modalidad	Abonados	Disponible
Teleservicio público	Servicio telefónico	Según su modalidad teléfonos públicos fijos	No disponible
Teleservicio público	Servicio telefónico	Según su modalidad teléfonos públicos móviles	No disponible
Teleservicio público	Servicio de buscapersonas	Según su modalidad unidireccional	No disponible
Teleservicio público	Servicio de buscapersonas	Según su modalidad bidireccional	No disponible
Teleservicio público	Servicio de canales móviles múltiples de selección automática		No disponible
Teleservicio público	Servicios multimedios		Disponible
Teleservicio público	Servicio de comunicaciones personales		No disponible
Teleservicio público	Servicios móviles por satélites		No disponible
Teleservicio público	Servicio de móvil de datos marítimo por satélite		No disponible
Teleservicio privado	Utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio fijo terrestre	Disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio fijo privado	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio móvil privado	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de radionavegación	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de canales ómnibus	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de radioaficionados	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio espacial, investigación espacial	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio espacial, meteorología por satélite	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de emisiones de frecuencia patrón y de señales horarias	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de radioastronomía	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de ayuda a la meteorología	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio de radiolocalización	No disponible
Teleservicio privado	No utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio colectivo familiar	No disponible

Tabla 3.2: Análisis de disponibilidad de servicios en fibra óptica parte 2

Clasificación general	Criterio	Subcriterio	Disponibilidad de conectividad por fibra óptica
Servicio de radiodifusión público		De música ambiental	Disponible
Servicio de radiodifusión público	De distribución por cable	Cable alámbrico u óptico	Disponible
Servicio de radiodifusión público	De distribución por cable	Sistema de distribución multipunto	No disponible
Servicio de radiodifusión público	De distribución por cable	Difusión directa por satélite	No disponible
Servicio de radiodifusión privado de interés público		Los circuitos cerrados de televisión	Disponible
Servicio de radiodifusión privado de interés público		Radiodifusión educativa	Disponible
Servicio de radiodifusión privado de interés público		Radiodifusión comercial	Disponible
Servicio de radiodifusión privado de interés público	Radiodifusión por satélite	Radiodifusión directa por satélite	No disponible
Servicio de radiodifusión privado de interés público	Radiodifusión por satélite	Radiodifusión apoyada por un servicio fijo por satélite	No disponible
Servicios de valor añadido		Facsimil	No disponible
Servicios de valor añadido		Videotex	No disponible
Servicios de valor añadido		Teletex	No disponible
Servicios de valor añadido		Teletexto	No disponible
Servicios de valor añadido		Telemando	Disponible
Servicios de valor añadido		Telealarma	Disponible
Servicios de valor añadido		Almacenamiento y retransmisión de datos	Disponible
Servicios de valor añadido		Teleproceso y procesamiento de datos	Disponible
Servicios de valor añadido	Mensajería interpersonal	Correo electrónico	Disponible
Servicios de valor añadido	Mensajería interpersonal	Transmisión electrónica de documentos	Disponible
Servicios de valor añadido	Mensajería interpersonal	Transferencia electrónica de fondos	Disponible
Servicios de valor añadido	Mensajería interpersonal	Correo electrónico de voz	Disponible
Servicios de valor añadido		Mensaje de voz	Disponible
Servicios de valor añadido		Servicio de consulta	Disponible
Servicios de valor añadido		servicio de conmutación de datos por paquetes	Disponible
Servicios de valor añadido		Suministro de información	Disponible

Hasta este punto, se han identificado los servicios en los cuales la fibra óptica es fundamental. Seguidamente, se procederá a la exclusión de estos servicios, utilizando criterios rigurosamente fundamentados con el objetivo de precisar los límites jurisdiccionales del marco regulatorio vigente:

- Se procederá a la eliminación de servicios que no se ajusten a la delimitación geográfica establecida, excluyendo aquellos situados fuera de los límites del CHC, específicamente en el sector AE-I. Los servicios identificados que no cumplen con este criterio son:
 - Servicio portador, por su ámbito de acción, portador de larga distancia nacional
 - Servicio portador, por su ámbito, portador de larga distancia internacional
 - Teleservicio público, por su ámbito de prestación, de larga distancia nacional
 - Teleservicio público, por su ámbito de prestación, de larga distancia internacional
- Haciendo un análisis conciso de las necesidades infraestructurales de los servicios de radiodifusión pública por cable. Actualmente, los servicios de radiodifusión están evolucionando hacia plataformas digitales, dejando atrás los formatos tradicionales. Esta evolución favorece métodos de transmisión como la radio por internet y la radio digital terrestre, que principalmente utiliza tecnología inalámbrica. Dada la creciente integración de servicios a través de internet, este estudio no considera a la radiodifusión como el servicio principal del proyecto, excepto la radiodifusión por cable, específicamente la televisión, que forma parte de los paquetes ofrecidos por las empresas de servicios públicos [59].

Por lo tanto, los servicios a excluir son los siguientes:

- Servicio de radiodifusión privado de interés público, radiodifusión educativa
- Servicio de radiodifusión privado de interés público, radiodifusión comercial
- En lo que respecta a los servicios de valor añadido, estos serán excluidos del análisis debido a su inherente dependencia de los servicios portadores, como es el caso de los servicios de conmutación de datos por paquetes. Según el artículo 33, inciso 1 del texto único ordenado del reglamento de la ley de telecomunicaciones, estos servicios no solo

dependen funcionalmente, sino que también están jurídicamente subordinados a los servicios portadores [51].

Esta subordinación reglamentaria, claramente establecida, fundamenta su exclusión del estudio, lo cual permite enfocar la investigación en aquellos aspectos más influyentes y regulados de manera directa por las disposiciones normativas actuales, asegurando así un análisis más relevante y acorde con los objetivos regulatorios.

Es posible que en la clasificación de servicios dentro de la tabla siguiente, algunos se encuentren categorizados bajo varios criterios. A pesar de esta posible redundancia, consideramos que una clasificación detallada es fundamental para un análisis de la normativa.

Esta metodología nos permite evaluar con mayor claridad cómo cada servicio se alinea o difiere dentro del marco regulatorio establecido, facilitando así un entendimiento más profundo y una aplicación más efectiva de las regulaciones.

Por lo tanto, los servicios que serán considerados dentro de la jurisdicción de este proyecto para el análisis de su marco regulatorio son los siguientes:

Tabla 3.3: Alcance del marco regulatorio para los servicios ópticos en el CHC

Alcance del marco regulatorio para los servicios de telecomunicaciones que usan fibra óptica en el CHC		
Clasificación general	Criterio	Subcriterio
Servicio portador	Por su modalidad	Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones conmutadas
Servicio portador	Por su modalidad	Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones no conmutadas
Servicio portador	Por su ámbito de acción	Portador local
Teleservicio público	Por la forma en que se presta	Fijo
Teleservicio público	Por su ámbito de prestación	Local
Teleservicio público	Según su modalidad	Abonados
Teleservicio público	Servicios multimedios	
Teleservicio privado	Utilizan medio alámbricos u ópticos	Servicio fijo terrestre
Servicio de radiodifusión pública	De distribución por cable	Cable alámbrico u óptico
Servicio de radiodifusión privado de interés público		Los circuitos cerrados de televisión

3.1.3. Situación patrimonial

El CHC extendido sobre 598 manzanas, es reconocido por su invaluable riqueza en patrimonios tanto tangibles como intangibles, tal como se destaca en el plan maestro. En este lugar se entrelazan estilos de edificaciones religiosas, públicas y residenciales de gran valor patrimonial. Esta riqueza arquitectónica predomina en el sector AE-I abarcando diversos sectores y barrios tradicionales, detalle que se ilustra en la figura 1.1 y se respalda con información adicional en las tablas 3.4 y 3.5 [3].

Tabla 3.4: N° de propiedades registradas como patrimonio monumental nacional

Zona de organización	Sectores del CHC	N° de propiedades registradas (PM-I)
AE-I	Núcleo CHC	46
	Barrio San Cristóbal	11
	Santo Domingo – San Agustín	9
	Barrio San Blas	7
	Barrio Santa Ana	3
	Barrio San Pedro	10
	Pardo – Pumacchupan – Tres Cruces	1

Tabla 3.5: Número de lotes por categoría de catalogación en el CHC (AE-I)

Sectores del CHC (AE-I)	Patrimonio individual (PI-II)*	Valor contextual (VC-III)*	Algún elemento patrimonial (EP-IV)*	Sin valor (SV-V)**	Áreas no catalogadas (ANC)
Núcleo CHC	71	123	26	44	34
Barrio San Cristóbal	18	50	110	9	28
Santo Domingo – San Agustín	16	53	38	12	26
Barrio San Blas	24	138	92	33	56
Barrio Santa Ana	10	35	63	174	82
Barrio San Pedro	68	147	86	123	102
Pardo – Pumacchupan – Tres Cruces	13	74	77	310	57
Total	220	620	492	705	384

Este proyecto de tesis se centrará específicamente en el patrimonio tangible, debido a su influencia directa en la infraestructura física de las telecomunicaciones por cable.

El reglamento del plan maestro del CHC determina que, antes de realizar cualquier intervención, cada edificación debe ser cuidadosamente catalogada y reevaluada [60].

Este proceso permite la identificación precisa de los bienes inmuebles que requieren conservación. En la figura 3.1, se presenta una clasificación detallada, que incluye:

- Inmuebles declarados patrimonio monumental: Esta categoría abarca edificaciones que, debido a su significancia histórica, cultural o arquitectónica, han sido oficialmente reconocidas como monumentos. Son ejemplos vivos de la herencia y la identidad de la región, mereciendo la máxima protección y cuidado.
- Inmuebles con valor patrimonial individual: Se refiere a aquellos inmuebles que, si bien pueden no haber sido formalmente declarados como monumentos, poseen características únicas de valor histórico, arquitectónico o cultural que los hacen dignos de preservación. Este reconocimiento subraya la importancia de cada pieza en el mosaico cultural del CHC.
- Inmuebles con valor contextual: Esta clasificación se otorga a edificaciones que, más allá de su valor individual, contribuyen al entorno y carácter general de su entorno. Aunque individualmente pueden no destacarse, su conjunto preserva la cohesión estética y histórica del área, enriqueciendo el tejido urbano.
- Inmuebles con algún elemento artístico y/o profesional: En esta categoría se incluyen propiedades que albergan elementos de significativa relevancia artística o que han sido el sitio de notables contribuciones profesionales. Esto puede abarcar desde murales y esculturas hasta edificaciones que fueron talleres o estudios de figuras destacadas en diversos campos.

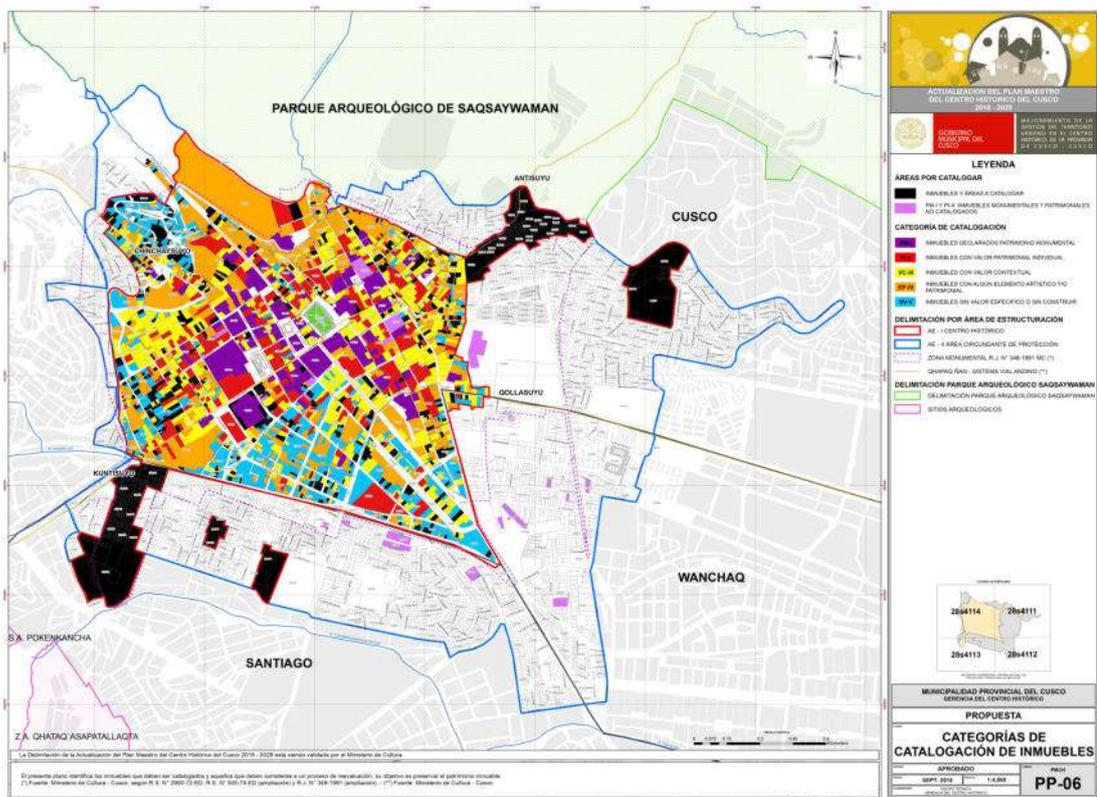


Figura 3.1: Catalogación CHC [3]

También se establece una jerarquía para la intervención urgente en inmuebles monumentales y patrimoniales, basada en evaluaciones detalladas en sitio sobre el estado de riesgo de los bienes culturales inmuebles. Esta jerarquización asigna tres categorías de prioridad para las acciones de conservación, detalladas de la forma siguiente:

- **Grado I:** Esta categoría engloba aquellos inmuebles de significativo valor monumental que enfrentan el mayor peligro de deterioro estructural, siendo estos los casos más críticos que demandan una acción inmediata para prevenir su colapso. Estos inmuebles son los que requieren atención prioritaria en cuanto a conservación y restauración se refiere.
- **Grado II:** Corresponden a los inmuebles que, si bien no están en el umbral más crítico de riesgo, presentan problemas significativos que necesitan ser abordados con prontitud para evitar su escalada a un estado de mayor riesgo. Estos inmuebles constituyen la segunda prioridad en la escala de intervención.

- Grado III: Esta clasificación incluye a aquellos inmuebles que, aunque presentan cierto nivel de riesgo, éste no es inmediato o crítico. La intervención en estos casos se planifica como una medida preventiva, ocupando el tercer lugar en términos de prioridad de acción.

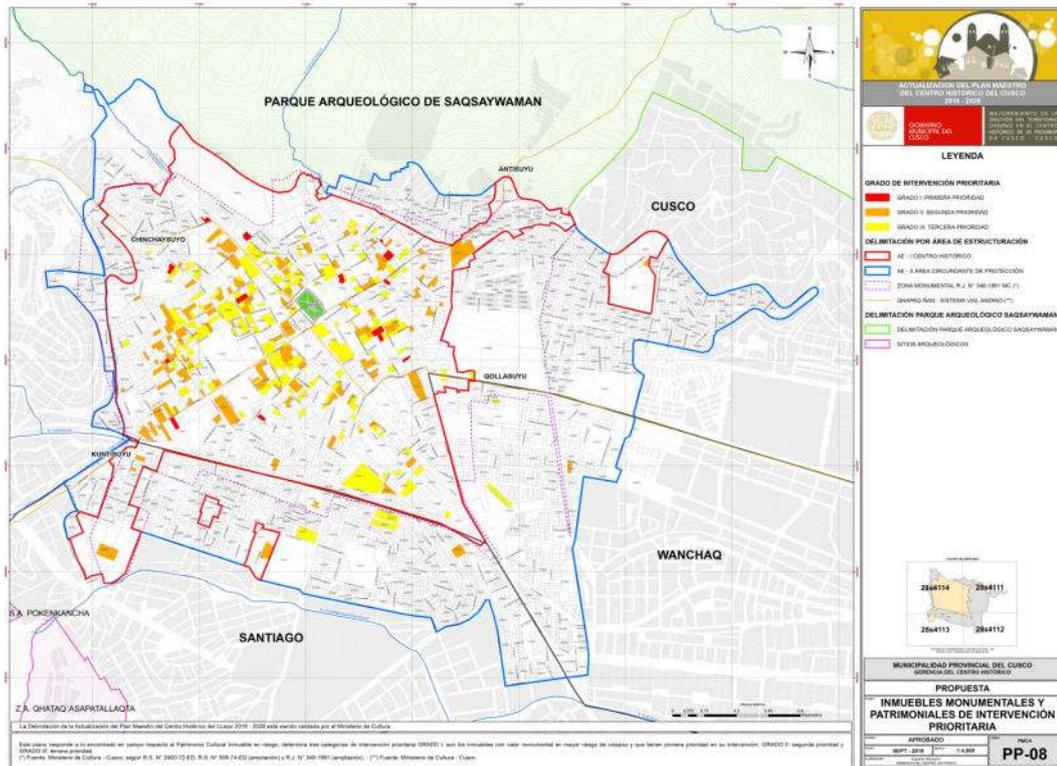


Figura 3.2: Grado de intervención CHC [3]

3.1.4. Proyecciones y perspectivas futuras

De acuerdo con las proyecciones de OSIPTEL, se espera que para finales de 2024, el Perú alcance más de cuatro millones de conexiones de internet fijo y se espera que, para finales del año 2028, Perú tenga más de cinco millones de conexiones de internet fijo, marcando un notable incremento en la demanda por soluciones de fibra óptica, reconocidas por su eficiencia y rapidez superior. Este crecimiento refleja la transición hacia tecnologías de comunicación avanzadas, evidenciada por el aumento de 13.8 puntos porcentuales en la adopción de fibra óptica de marzo de 2022 a marzo de 2023, según datos de la herramienta digital *Punku* [61].

Enfocándonos únicamente en los estudios de tendencias para conexiones de fibra óptica: Para junio de 2024, se observó que las operadoras han alcanzado un total de 2.5 millones de conexiones de fibra óptica, lo que constituye el 65.45% del total de conexiones de internet fijo en el país. Hasta el final del primer semestre de 2024, se contabilizaron 2 540 374 conexiones de internet fijo mediante fibra óptica en Perú, lo que representa un aumento del 61.66% comparado con el mismo periodo del año anterior, según datos proporcionados por OSIPTEL.

Según el análisis de la dirección de políticas regulatorias y competencia de OSIPTEL, el crecimiento de las conexiones de fibra óptica ha sido constante, con una tasa de crecimiento promedio anual de 77.6% desde junio de 2019. Se señaló que, para el primer trimestre del año en curso, el total de conexiones de internet fijo en el país superó los 3.6 millones, de las cuales el 61.97% eran conexiones de fibra óptica [13].

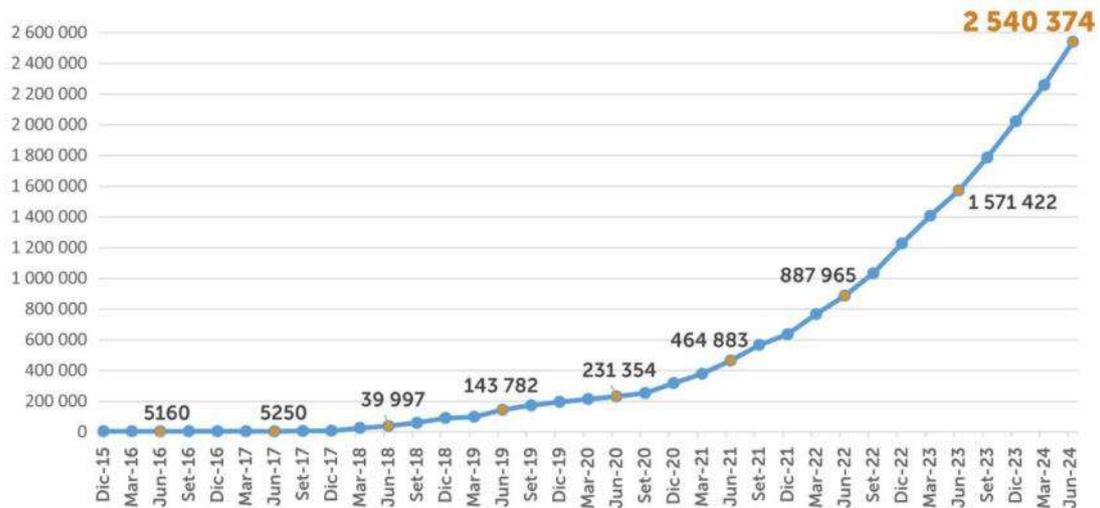


Figura 3.3: Crecimiento conexiones con fibra óptica [13]

Este impulso hacia la fibra óptica es fundamental para el desarrollo de ciudades inteligentes, un movimiento que se observa globalmente con municipios adoptando y expandiendo proyectos piloto y aplicaciones que encarnan el concepto de ciudad inteligente. De acuerdo con el plan de desarrollo urbano de Cusco, proyectos como *Smart Trujillo* y *Smart Lima* destacan en Perú. *Smart Lima* sobresale por mejorar la movilidad urbana con tecnologías como semáforos inteligentes y sistemas de gestión para el metropolitano de Lima, además de fortalecer la seguridad pública con sistemas avanzados de vigilancia [62].

La implementación de infraestructuras de red óptica robustas en diversos entornos urbanos ha demostrado ser fundamental no solo para proporcionar acceso a internet, sino también para facilitar el desarrollo de proyectos de ciudades inteligentes. En Cusco, la adopción de esta tecnología avanzada es clave para impulsar aplicaciones tecnológicas innovadoras que mejoran significativamente la calidad de vida urbana. La transición hacia sistemas de fibra óptica es esencial para la viabilidad de dichos proyectos, destacando la necesidad de establecer un marco regulatorio que sea flexible y fomente el desarrollo sostenible de las ciudades inteligentes en la región. En el presente proyecto de tesis, proponemos directrices detalladas en secciones posteriores que abordan la importancia de diseñar una infraestructura que no solo cubra las necesidades actuales, sino que también prevea un aumento en la demanda de usuarios y servicios, así como posibles expansiones de la infraestructura urbana. Además, el diseño incluye la incorporación de puntos de interconexión estratégicos que permitirán futuras ampliaciones sin comprometer la operatividad de la red.

3.2. Análisis del marco regulatorio nacional

La ley de telecomunicaciones en Perú define una red o sistema de telecomunicaciones como la infraestructura que permite la transmisión de voz, sonidos, datos y más, entre puntos determinados mediante conexiones físicas, radioeléctricas, ópticas y equipos asociados.

En esta sección, se detallará la normativa aplicable a la infraestructura de redes de fibra óptica, incluyendo un desglose de las entidades regulatorias encargadas de su supervisión y cumplimiento. Este análisis abarcará tanto los principios fundamentales como las disposiciones específicas que rigen la implementación y gestión de estas redes críticas para la telecomunicación moderna en el contexto del CHC [28].

3.2.1. Análisis del marco regulatorio nacional en infraestructura de telecomunicaciones

3.2.1.1. Reglamento nacional de edificaciones

El reglamento nacional de edificaciones proporciona las directrices esenciales para la infraestructura y construcción, incluyendo aspectos cruciales para el despliegue de redes ópticas. En este estudio, se enfoca en normas específicas que afectan la infraestructura de telecomunicaciones alámbricas, esenciales para planificar y ejecutar proyectos de fibra óptica en el CHC.

Norma EC.040 redes e instalaciones de comunicaciones:

La Norma EC.040, relativa a las redes e instalaciones de comunicaciones, subraya la importancia de contar con una infraestructura de telecomunicaciones alámbrica adecuada para el intercambio de información global, destacando su contribución a la calidad de los servicios de telecomunicaciones para los usuarios, punto importante tomando en consideración el crecimiento de la demanda de conectividad del CHC. Esta norma, de carácter obligatorio, dirige el diseño y construcción de infraestructura de telecomunicaciones en zonas urbanizadas, a incluir desde el diseño de ductos subterráneos hasta la instalación de postes y cableado

aéreo, con el objetivo de asegurar la funcionalidad, seguridad y estética urbana. A lo largo de esta normativa nos percatamos que se establece lineamientos técnicos específicos para la construcción de infraestructura que soporten diversas tecnologías de comunicación, incluyendo sistemas de telefonía, datos, internet y radiodifusión, enfatizando la necesidad de autorización para el uso de espacios públicos y la preferencia por instalaciones subterráneas en nuevas urbanizaciones. Lo cual se alinea con el alcance de la fibra óptica en el CHC. Su jurisdicción de los servicios de estudio y el menor impacto en su despliegue [49].

- En el artículo 7 establece las normas técnicas para el diseño y construcción de plantas externas de telecomunicaciones, enfocándose en las áreas básicas de distribución. Podemos definir el número de lotes por área según el tamaño del frente, instalar obligatoriamente una caja de distribución por área que debe estar ubicada equidistantemente y especificar sus dimensiones mínimas. También contempla la instalación en un pedestal de concreto. Éste también detalla el uso de ductos de PVC para el acceso a cada lote y la conexión con la cámara de distribución, asegurando que no interfieran con otros servicios y cumplan con las normativas de seguridad aplicables.
- El artículo 7.2, se centra en los requisitos de seguridad para las líneas subterráneas de suministro eléctrico y comunicaciones, siguiendo el código nacional de electricidad. Detalla el uso de tres tipos de cámaras para distribución, empalmes y acometidas, especificando sus dimensiones mínimas, construcción y material según su función. Establece directrices para la construcción de cámaras, incluyendo piso, paredes, techo y tapas, asegurando su durabilidad y funcionalidad. Además, introduzca el uso de ductos de PVC para la protección de cables subterráneos, diferenciando entre tipos livianos y pesados, sus dimensiones, características, instalación y protección, garantizando una infraestructura segura y eficiente. En este artículo contempla cajas de concreto sin actualizaciones de nuevos materiales con tecnologías más modernas.
- El artículo 7.3 establece que las líneas aéreas deben adherirse a las normativas de seguridad establecidas para la instalación y el mantenimiento conforme a lo especificado en el código nacional de electricidad.

Norma A.110 comunicación y transporte:

- En su artículo 11 determina que la ubicación de las estaciones de radio debe estar en consonancia con el plan urbanístico y evitar zonas monumentales. Aunque se refiere específicamente a estaciones de radio y televisión, subraya la importancia de respetar el patrimonio cultural [63].

Norma EM.020 instalación de comunicaciones:

La norma técnica EM.020, modificada por última vez mediante resolución ministerial N° 400-2018, establece lineamientos técnicos para el diseño de instalaciones de telecomunicaciones en edificaciones. Exige que el proyecto técnico de instalaciones sea desarrollado conforme a esta norma y validado por un ingeniero electrónico o de telecomunicaciones colegiado. La red interna debe permitir a cada usuario acceder a servicios de telecomunicaciones conforme a la legislación vigente.

En el contexto de estudio la transmisión de servicios se debe realizar a través de medios como fibra óptica y la infraestructura interna debe incluir componentes específicos como cámara de entrada, cuarto de telecomunicaciones, entre otros. La organización de esta infraestructura comienza en el punto de demarcación, requiriendo espacios adecuados para una instalación segura e interconectada [64].

- En su artículo 10 establece las especificaciones para la cámara de entrada de las instalaciones de telecomunicaciones, señalando su función y diseño óptimo.
- El artículo 11 prohíbe ciertas instalaciones dentro de la cámara de entrada que obstruyan el paso de cables, asegurando así su funcionalidad.
- Los artículos 12, 13, y 14 se enfocan en el cuarto de telecomunicaciones, definiendo sus requisitos mínimos, las normativas para instalaciones eléctricas, y la ubicación de tableros de protección para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.
- El artículo 15 detalla los criterios que deben cumplir los gabinetes principales, mientras que el artículo 16 describe los requisitos para los gabinetes secundarios. Estos lineamientos nos guían en el despliegue efectivo de la fibra.

- Finalmente, el artículo 17 especifica las características de las cajas de paso, elementos cruciales para la organización y gestión de los cables dentro de las infraestructuras de telecomunicaciones. Estas disposiciones buscan estandarizar y mejorar la implementación de las redes de telecomunicaciones en edificaciones, promoviendo la seguridad, accesibilidad y eficiencia en el manejo de las conexiones.
- Los artículos 18 al 25 del reglamento abordan aspectos fundamentales de la infraestructura de telecomunicaciones en edificaciones, con énfasis en asegurar conectividad óptima y seguridad. Detallan la implementación de puntos de acceso al usuario y cajas terminales, enfocándose en su ubicación estratégica, dimensiones, y estética para facilitar el acceso a servicios de telecomunicaciones. Además, destacan la importancia de una organización eficiente de las canalizaciones desde la cámara de entrada hasta el usuario, promoviendo una red de telecomunicaciones planificada que permita un mantenimiento y expansión efectivos. Esta sección resalta la necesidad de cumplir con normas técnicas específicas para adaptarse a futuras demandas de conectividad.

3.2.1.2. Código nacional de electricidad suministro

El código nacional de electricidad establece normativas preventivas esenciales para proteger a las personas involucradas en la construcción, operación, y mantenimiento de las instalaciones de comunicaciones, incluyendo a trabajadores de concesionarias, contratistas, subcontratistas y terceros, así como para asegurar la integridad de dichas instalaciones. Se busca minimizar impactos negativos en propiedades, tanto públicas como privadas, el medio ambiente, y el patrimonio cultural de la nación. Estas normativas ofrecen criterios fundamentales para garantizar la seguridad de los trabajadores y del público bajo condiciones específicas. Aunque el código abarca diversos aspectos, este análisis se centra principalmente en las secciones que definen y especifican la terminología relacionada con enlaces de comunicación, como la fibra óptica y sus variantes. Específicamente, se resalta la importancia de las partes 2 y 3 del código, dedicadas al tendido aéreo y subterráneo de cables, respectivamente, por su relevancia en la implementación de infraestructuras de telecomunicaciones [14].

- La parte 2 del código nacional de electricidad se enfoca en las reglas de seguridad para la instalación y mantenimiento de líneas aéreas de comunicaciones, especificando distancias de seguridad para proteger tanto a personas como a instalaciones. Estas reglas abordan desde las distancias mínimas de seguridad hasta las condiciones bajo las cuales se pueden instalar líneas aéreas sobre propiedades, con un énfasis especial en evitar daños al patrimonio y al ambiente. Las disposiciones incluyen normas para la instalación de cables de fibra óptica, tanto para suministro como para comunicaciones, estableciendo las distancias de seguridad requeridas según si son dieléctricos o conductivos. También se mencionan requerimientos específicos para conductores de comunicación en estructuras, asegurando que se mantengan las distancias adecuadas de los conductores de suministro para evitar interferencias y garantizar la seguridad.

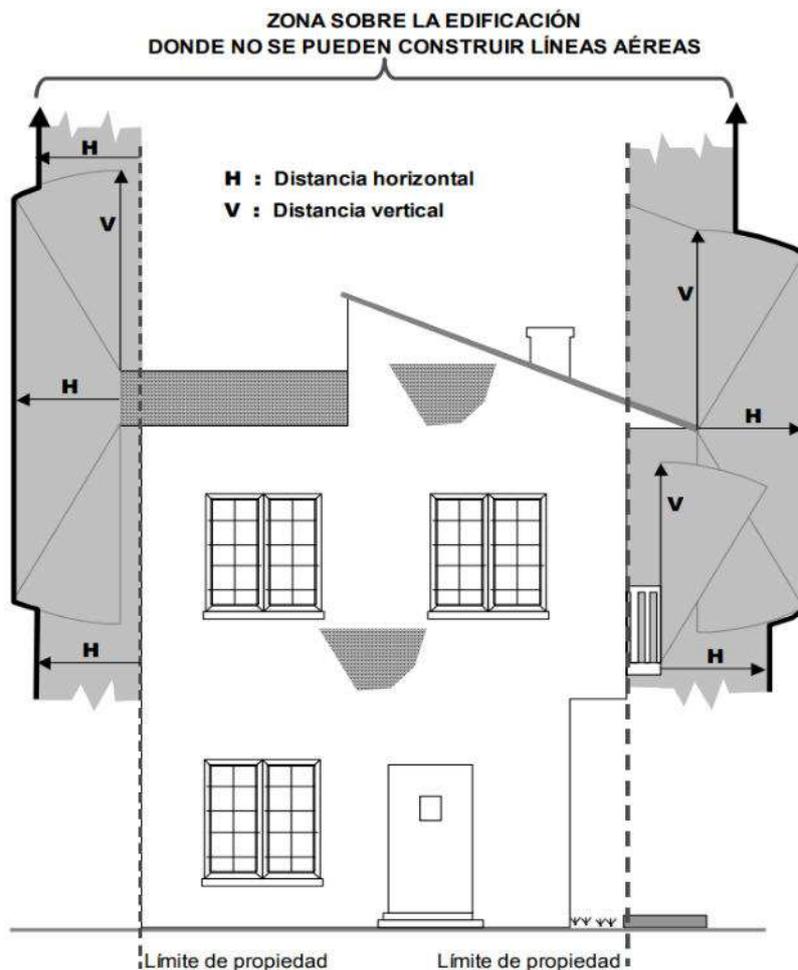


Figura 3.4: Área restringida para la instalación de líneas aéreas [14]

- La parte 3 del código nacional de electricidad aborda detalladamente las normas de seguridad para la instalación y mantenimiento de líneas subterráneas de suministro eléctrico y comunicaciones. Se enfatiza la importancia de proteger a las personas, la propiedad y el patrimonio cultural, así como el medio ambiente durante estas actividades. Se establecen requisitos generales para asegurar que las instalaciones subterráneas se realicen de manera segura, incluyendo la necesidad de mantener documentación actualizada y la coordinación con entidades e instituciones.

Especial atención merece la sección 35 sobre el cable directamente enterrado, donde se presentan directrices específicas para la instalación subterránea de cables, incluidos los de fibra óptica. Estas normativas permiten adaptaciones según las necesidades y limitaciones espaciales, promoviendo la coexistencia segura de diferentes tipos de infraestructura subterránea. La excepción relevante para los cables de comunicación de fibra óptica totalmente dieléctricos, que pueden ser enterrados juntos a la misma profundidad sin separación deliberada con los cables de suministro, subraya una vía práctica para el despliegue de redes ópticas, aliviando restricciones y fomentando una integración eficiente. Esta sección del código es importante porque ofrece orientación sobre la implementación subterránea de fibra óptica en áreas urbanas como sería el caso del CHC. Al permitir cierta flexibilidad en la colocación y separación de cables, especialmente para aquellos totalmente dieléctricos, se facilita la expansión de la infraestructura de telecomunicaciones necesaria para soportar servicios avanzados y conectividad mejorada, al tiempo que se preserva el entorno y se respetan las regulaciones de seguridad y patrimonio.

3.2.1.3. Ley N° 29022 ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones.

- El artículo 4 asigna al ministerio de transportes y comunicaciones la exclusividad para regular las telecomunicaciones en Perú, garantizando una expansión uniforme de la infraestructura de telecomunicaciones, incluida la fibra óptica.

- El artículo 5 simplifica la instalación de infraestructura de telecomunicaciones mediante un proceso de aprobación automática para permisos en terrenos públicos o privados, basado en un plan de obra.
- El artículo 6 es importante puesto que establece el derecho de uso gratuito de espacios públicos, como calles, plazas, y áreas subterráneas y aéreas, para los operadores de servicios de telecomunicaciones. Este acceso sin costo permite el despliegue, mejora y mantenimiento de infraestructuras de telecomunicaciones, lo cual es crucial para la expansión y actualización de redes en áreas patrimoniales.
- El artículo 7 dicta reglas claras para que la infraestructura de telecomunicaciones se instale sin obstruir la vía pública ni dañar el entorno. Subraya la prohibición de obstrucciones a la circulación, el daño a espacios públicos, la visibilidad y el patrimonio, y exige la minimización del impacto visual y ambiental. Los operadores deben usar tecnologías que se integren estéticamente con el entorno y mantener informado al público sobre sus proyectos. La responsabilidad del cumplimiento recae en los concesionarios, con supervisión y sanciones locales para garantizar la armonía entre la infraestructura tecnológica y el respeto al entorno patrimonial.
- Los artículos 8 y 9 de la ley establecen obligaciones para empresas concesionarias de servicios públicos distintos a las telecomunicaciones y para los propios concesionarios de telecomunicaciones. Facilita la expansión de la infraestructura de telecomunicaciones en todo el país [65].

3.2.1.4. Normas adicionales nacionales en telecomunicaciones

- Decreto supremo N° 039-2007-MTC: Aprueban reglamento de la ley N° 29022, ley para la expansión de infraestructura en telecomunicaciones.
- Decreto supremo N° 003-2015-MTC: Se ratifica el reglamento de la ley N° 29022, destinada al fomento de la expansión de la infraestructura en telecomunicaciones.
- Ley N° 28295: Normativa sobre el uso compartido y acceso a infraestructuras públicas destinadas a la oferta de servicios de telecomunicaciones públicos.

- Reglamento de la ley N° 28295: Mediante el decreto supremo N° 009-2005-MTC, el cual norma el acceso y la utilización compartida de infraestructuras públicas para la entrega de servicios de telecomunicaciones públicos.
- Resolución de consejo directivo N° 008-2006-CD-OSIPTEL: Establecen metodología para calcular la compensación por el acceso y utilización compartida de infraestructuras públicas vinculadas a la provisión de servicios de telecomunicaciones públicos.
- Decreto legislativo N° 1019: Norma que establece la ley de acceso a la infraestructura de proveedores clave en la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones.
- Resolución de consejo directivo N° 020-2008-CD-OSIPTEL: Regulaciones adicionales para la ley de acceso a la infraestructura de proveedores esenciales de servicios públicos de telecomunicaciones.
- Resolución de consejo directivo N° 182-2020-CD-OSIPTEL: Se aprueba el método para la eliminación de componentes no autorizados en la infraestructura pública destinada a la prestación de servicios de telecomunicaciones públicos.
- Decreto de urgencia N° 041-2019: Establece medidas para agilizar la implementación de proyectos de redes e infraestructura de telecomunicaciones.
- Decreto legislativo N° 1509: Normativa que permite la contratación de servicios en las redes de infraestructura de telecomunicaciones.

3.2.2. Análisis del marco regulatorio nacional en reservación patrimonial

3.2.2.1. Ley general del patrimonio cultural de la nación

La normativa general sobre el patrimonio cultural de la nación en Perú proporciona un conjunto de reglas para la salvaguarda, mantenimiento y difusión de los activos culturales peruanos. Esta ley enfatiza la necesidad de conservar el patrimonio histórico y cultural,

imponiendo responsabilidades y limitaciones en cuanto a la tenencia y gestión de estos activos [33].

- El artículo 1 de la ley general del patrimonio cultural de la nación categoriza los componentes del patrimonio cultural en dos grupos principales, materiales e inmateriales. Dentro de los bienes materiales, se distinguen dos subcategorías, inmuebles y muebles. En el contexto de esta tesis, nos centraremos en los bienes inmuebles debido a su interacción significativa con la infraestructura de las redes ópticas.

Los inmuebles incluyen, pero no se limitan a estructuras como edificios, infraestructuras, ambientes monumentales, centros históricos, y otras construcciones que son el resultado tangible de la actividad humana en entornos urbanos como es el caso del CHC.

La ley estipula que la salvaguarda de los bienes inmuebles del patrimonio cultural abarca el terreno y el subsuelo donde se ubican, así como el espacio aéreo y los alrededores, hasta un límite que sea técnicamente necesario en cada caso. Para un despliegue de redes todos sus métodos de tendido están reguladas por este principio.

- En el artículo 4 la ley aborda la tenencia privada de los bienes culturales, tanto muebles como inmuebles, que forman parte del patrimonio cultural nacional, detallando las restricciones, limitaciones y deberes inherentes a esta propiedad, motivados por el interés público y la necesidad de conservar adecuadamente estos bienes.
- En el artículo 6 indica que cualquier bien inmueble de origen prehispánico que forma parte del patrimonio cultural nacional es propiedad estatal, incluyendo todos sus elementos y componentes, ya sean encontrados o aún por descubrir, y se mantiene como bienes intangibles, inalienables e imprescriptibles bajo gestión estatal, sin importar su localización. en terrenos públicos o privados. Las construcciones sobre restos prehispánicos se consideran como una entidad inmobiliaria unificada, sujetas a una posible expropiación estatal para su preservación. Los dueños de estos predios tienen el deber de registrar, proteger y mantener tales bienes, reportando cualquier violación de su intangibilidad al Instituto Nacional de Cultura (INC), siendo responsables por el incumplimiento de estas obligaciones. Los inmuebles del patrimonio cultural de

periodos post-prehispánicos, en propiedad privada, permanecen bajo régimen privado pero sujetos a las restricciones y deberes marcados por la ley.

- La ley en el artículo 19 presenta los organismos competentes; el INC, junto con la biblioteca nacional y el archivo general de la nación, son las entidades responsables de llevar a cabo la identificación, catalogación, registro, investigación, protección, preservación, divulgación y fomento de los bienes que conforman el patrimonio cultural nacional dentro de sus respectivas áreas de competencia.
- El artículo 20 indica las limitaciones fundamentales en la propiedad de bienes muebles e inmuebles que forman parte del patrimonio cultural de la nación estas incluyen la prohibición de separar partes constituyentes de dichos bienes, así como de alterar, reconstruir, modificar o restaurar, ya sea total o parcialmente, sin contar con la autorización previa del INC en cuya área de influencia se encuentre el bien.
- El artículo 21 indica que los propietarios de bienes culturales reconocidos como parte del patrimonio cultural de la nación están sujetos a obligaciones específicas para su conservación. Estas incluyen permitir inspecciones y trabajos de restauración por parte del INC, facilitar el acceso a investigadores acreditados, y proporcionar documentación relevante cuando sea necesario para investigaciones. Estas medidas aseguran la protección y preservación óptima de los bienes patrimoniales. Para el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones donde será necesario una sinergia con otras áreas como arquitectura, arqueología, etc. El artículo 20 y 21 extienden una vía legal de apoyo.
- El artículo 22 pone en conocimiento de manera clara las medidas de protección de los bienes inmuebles puesto que exhorta que toda obra nueva o de modificación que afecte a un bien inmueble del patrimonio cultural de la nación, se necesita la aprobación previa del INC. Este organismo tiene la autoridad de detener o demoler construcciones que no cumplan con las normativas o que dañen el patrimonio, recurriendo a la fuerza pública si es necesario. Los costos derivados de estas acciones recaen en los responsables de la infracción, quienes deben restaurar el bien a su estado anterior. En casos de destrucción o alteración de estos bienes, se notificará al ministerio público para acciones penales.

- El artículo 28 y 29 se refiere al ámbito de protección y gestión del patrimonio cultural de la nación. En el contexto de esta tesis, indica que el gobierno regional del Cusco y las municipalidad desempeñan roles complementarios, conforme a sus respectivas leyes orgánicas. Ambas entidades están comprometidas a colaborar con organismos nacionales como el INC, la biblioteca nacional y el archivo general de la nación, en tareas que abarcan desde la identificación hasta la promoción de patrimonios culturales. Este compromiso incluye la aprobación y supervisión de proyectos de restauración y conservación por parte del gobierno regional del Cusco, mientras que la Municipalidad Provincial del Cusco (MPC) están encargadas de dictar medidas para la protección de estos bienes y de coordinar planes orientados a su conservación y promoción, necesitando para ciertas disposiciones la aprobación previa de los organismos pertinentes para garantizar la validez de sus acciones. Esta regulación define el proceso de aprobación de proyectos de telecomunicaciones, identificando claramente las autoridades encargadas de conceder la autorización. Esto se enfatiza en el artículo siguiente, particularmente para proyectos que requieren concesiones.
- El artículo 30 se centra en las concesiones, estableciendo que cualquier obra pública o concesión que afecte áreas con patrimonio cultural debe recibir autorización del INC. Existen excepciones para las mejoras en infraestructuras preexistentes, a menos que impliquen ampliaciones. Además, en caso de descubrimientos accidentales de patrimonio durante las obras, se debe detener inmediatamente la actividad y notificar al INC. Esta disposición es especialmente relevante para proyectos que incluyen la instalación de ductos profundos, tal como se expone en la sección de problemática del primer capítulo de esta tesis.

3.2.2.2. Reglamento plan maestro del CHC

Este reglamento sirve como marco técnico y normativo esencial para el desarrollo y revitalización integral del plan maestro del CHC, enfocado en fomentar el progreso en diversas áreas como la social, económica, cultural, urbanística y medioambiental, así como en la mejora de su entorno físico [60].

- En sus primeros artículos, identifica el **CHC** como una zona de gran valor histórico y cultural, preservando arquitectura de distintas épocas, desde la prehispánica hasta la moderna, lo que representa el legado histórico de la nación y su identidad cultural. Este conjunto de normas tiene preeminencia sobre otras disposiciones urbanísticas de alcance general, en caso de conflictos relacionados con la conservación del patrimonio cultural. Impone el deber a todas las entidades y personas, tanto físicas como jurídicas, de acatar estas directrices en el perímetro establecido, asignando a la Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco (**DDCC**) y a la **MPC** la responsabilidad de su implementación, supervisión y sanción. Además, recuerda la importancia de la propiedad privada dentro del **CHC**, de acuerdo con la legislación nacional sobre el patrimonio.
- En el artículo 9 del reglamento subraya dos pilares fundamentales; el principio de prevención y el principio de preservación. El primero enfatiza la importancia de tomar medidas proactivas para prevenir cualquier daño al patrimonio cultural e histórico, además de proteger el entorno natural. El segundo principio se centra en la necesidad de mantener, restaurar y realzar el valor del patrimonio cultural tangible, asegurando la preservación de su autenticidad, estructura y las características urbanas de las diversas áreas del **CHC**. Ambos principios guían la actuación y la planificación estratégica dentro del marco de preservación del patrimonio cultural.
- En el artículo, 22, 23 y 24 del presente reglamento se dedica a la preservación, uso e intervenciones en el **CHC**, estableciendo un marco normativo que subraya la importancia de su cuidado y revitalización. Se declara de interés y necesidad pública la protección del **CHC**, reconociéndolo como un espacio en constante evolución social, física y cultural. La ley N° 30696 respalda este enfoque, destacando la recuperación y realce de su valor histórico y cultural.

La normativa prioriza la rehabilitación para revitalizar el **CHC**, buscando preservar su rica historia y arquitectura mediante la conservación integral y el manejo urbanístico cuidadoso. La integridad de la trama urbana y los bienes de valor patrimonial son intocables, con un enfoque en actividades que promuevan su preservación y un uso compatible estrictamente regulado para proteger la esencia del patrimonio.

Tras revisar detalladamente el reglamento, nos enfocaremos en examinar las implicaciones que tienen las redes ópticas en la conservación del patrimonio. Este análisis nos permitirá entender cómo la implementación de estas tecnologías se alinea con los objetivos de preservación patrimonial establecidos.

- El artículo 117 se enfoca en la normativa de aleros para edificaciones. Se especifica que el diseño de aleros en nuevas construcciones, así como en proyectos de rehabilitación y restauración, debe incluir la integración de canales para alojar cables de electricidad, telefonía móvil, televisión por cable e internet. Esta disposición se aplica solo cuando la instalación subterránea de estos servicios no sea viable para proteger el patrimonio arqueológico. Para edificios ya existentes de importancia patrimonial, se mantendrá el tamaño original del alero. En el caso de nuevas construcciones, el alero no sobrepasará una proyección horizontal de 1.00 metro.

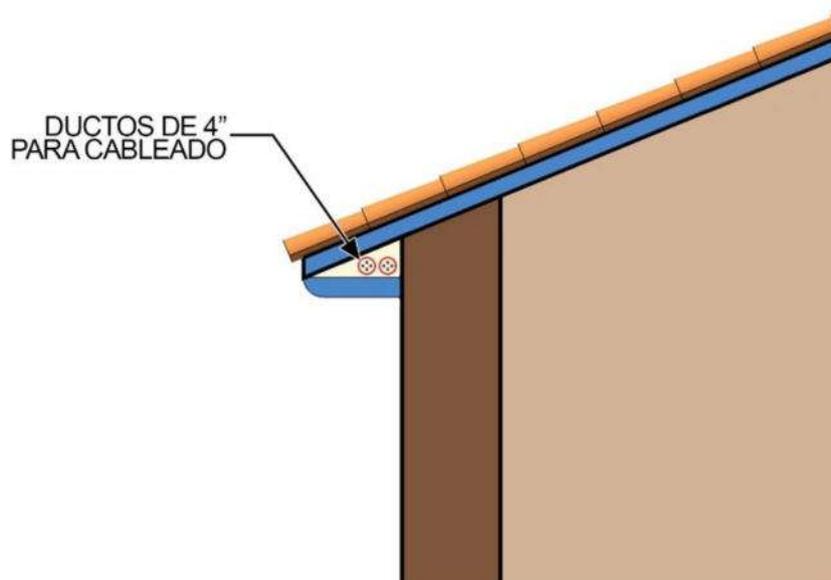


Figura 3.5: Diseño de aleros con ductos para instalaciones en construcciones nuevas [3]

Este artículo pone énfasis en la importancia de adaptar las edificaciones, ya sean nuevas o algunas a procesos de rehabilitación, para acomodar infraestructura de telecomunicaciones alámbricas de manera que se preserve la estética y la integridad patrimonial. Al estipular el uso de aleros para el paso de cableado solo como última opción, el reglamento prioriza la preservación del entorno histórico sobre la conveniencia de otras formas de instalaciones que se verán reflejadas en los artículos siguientes.

- El artículo 133 recalca la importancia de abordar cualquier obra en los espacios públicos del **CHC** de manera integral. Esto implica la inclusión de tareas como pavimentación, iluminación pública, y especialmente, el tendido de redes de telecomunicaciones, que deben ser ejecutadas de forma subterránea para cumplir con las normativas vigentes. Se exige a las municipalidades avisar con tres meses de anticipación sobre cualquier proyecto a las compañías de servicios, para coordinar la inclusión de infraestructuras subterráneas en sus planos y presupuestos. Durante estas obras, si se descubren hallazgos arqueológicos, las actividades deben detenerse inmediatamente para su evaluación.
- El artículo 136 establece que los conductos de servicios como electricidad, telefonía, y específicamente fibra óptica, junto con postes y otras estructuras de apoyo, deben integrarse de manera que no perturben la estética urbana, requiriendo que todas las instalaciones sean subterráneas o empotradas. Cualquier cableado aéreo existente deberá ser progresivamente retirado o reubicado tras la entrada en vigencia de este reglamento.

La normativa 133 y 136 refleja un enfoque progresivo hacia la modernización de servicios esenciales, como las telecomunicaciones alámbricas, enfatizando la necesidad de hacerlo de manera que preserve la visión histórica y arqueológica del **CHC**. La mención específica de redes subterráneas para telecomunicaciones, incluyendo fibra óptica, señala un paso adelante hacia una infraestructura menos intrusiva y más acorde con el entorno patrimonial. La eliminación gradual de elementos aéreos existentes apoya este objetivo, asegurando que la modernización no solo mejora la funcionalidad, sino que también enriquece la integridad visual y cultural del **CHC**.
- El artículo 139 estipula las condiciones para la colocación de postes de alumbrado público y telecomunicaciones en el **CHC**, especificando que solo se permiten en plazas y calles con veredas anchas, posicionados de manera que no obstruyan el paso peatonal. Se prohíbe la instalación de postes en calles estrechas, optando por luminarias fijadas a las fachadas para iluminación. Se requiere que los proveedores de servicios eléctricos y de telecomunicaciones actualicen las infraestructuras que no cumplan con estos requisitos. Además, se deberá modernizar cualquier red de servicio básico que supere los 25 años de antigüedad, y se especifica que la iluminación en espacios públicos debe adaptarse al uso previsto de cada zona. La iluminación debe ser de luz cálida,

y las nuevas instalaciones deberán incluir tecnología para la eficiencia energética y la estabilidad luminosa. Las luminarias en fachadas deben armonizar con la estética del inmueble sin causar daños. Finalmente, la iluminación de monumentos debe seguir las directrices específicas para no desentonar con su valor histórico.

Este artículo resalta la importancia de integrar de manera cuidadosa la infraestructura de telecomunicaciones y alumbrado público dentro del entorno histórico y estético del **CHC**. Se pone énfasis en la necesidad de actualizar y mejorar las instalaciones para adaptarse a las normativas de conservación, promoviendo al mismo tiempo la eficiencia energética y la minimización del impacto visual en el entorno. Aunque se habla de telecomunicaciones de manera general, la inclusión de medidas específicas para la iluminación sugiere un enfoque holístico que abarca tanto la funcionalidad como la preservación del carácter histórico del área. Este enfoque integral es crucial para asegurar que las redes ópticas y otras infraestructuras modernas se implementen de una manera que respete y enaltezca la riqueza cultural y arquitectónica del **CHC**, manteniendo su integridad mientras se mejora su accesibilidad y funcionalidad.

- El artículo 141 detalla las directrices para la infraestructura de telecomunicaciones en los espacios públicos, asignando a la **MPC** y **DDCC** la responsabilidad de definir las normas para la ubicación e instalación de equipos de telecomunicaciones, incluyendo antenas. Se promueve un enfoque de infraestructuras compartidas para nuevas canalizaciones, facilitando la cooperación entre diversos operadores. Se enfatiza que los teléfonos públicos deben ser instalados de forma que armonicen con el entorno y requieran autorización previa. Las cabinas existentes deben ajustarse para no obstruir el paso ni alterar visualmente el entorno. Las empresas de telecomunicaciones deben eliminar el cableado aéreo según lo dictado por regulaciones transitorias y adoptar soluciones subterráneas, con la obligación de las municipalidades de notificación sobre obras con tres meses de anticipación.

Este artículo refleja la prioridad de integrar la tecnología de telecomunicaciones de manera que respete el patrimonio y la estética del **CHC**, enfocándose en soluciones que minimicen el impacto visual y físico. La mención de un sistema de infraestructuras compartidas sugiere un esfuerzo por optimizar recursos y espacio, reduciendo la

redundancia de instalaciones y promoviendo una gestión eficiente del espacio público. Al establecer claramente la necesidad de autorización y reubicación de elementos que puedan interferir con la experiencia del espacio público, se subraya el compromiso con mantener la accesibilidad y la integridad visual del entorno histórico. Es relevante para las redes ópticas, pues indica la tendencia hacia una infraestructura menos intrusiva y más integrada con el tejido urbano y patrimonial del Cusco, lo que resalta la importancia de planificar cuidadosamente la implementación de estas tecnologías.

- El artículo 142 establece criterios rigurosos para la instalación de infraestructuras de las empresas prestadoras de servicios (EPS) en el CHC. Antes de cualquier implementación, se requiere una solicitud detallada que incluya planos y fichas técnicas de los equipos, así como visualizaciones de cómo se integrarán estéticamente en el ambiente. Es imprescindible que cualquier nueva instalación o actualización tecnológica por parte de las EPS incorpore la eliminación de elementos obsoletos, como cableados aéreos y postes inutilizados, favoreciendo soluciones subterráneas que se alineen con los objetivos de conservación y armonización visual del CHC.

Este artículo resalta la necesidad de un enfoque proactivo y considerado hacia la modernización de la infraestructura de telecomunicaciones en áreas de valor histórico y cultural. La demanda de una planificación detallada y la presentación de propuestas que respeten el contexto urbano subrayan la importancia de preservar la integridad visual y estructural del CHC. La obligación de retirar infraestructuras anticuadas y reemplazarlas con tecnologías que favorezcan la integración subterránea refleja un compromiso con la mejora continua del entorno urbano, asegurando que las actualizaciones tecnológicas no solo cumplan con las necesidades de servicios modernos, sino que también contribuyan positivamente a la preservación del patrimonio. Este enfoque es particularmente relevante para las redes ópticas, ya que promueve una implementación que es consciente del impacto visual y físico, alineándose con los principios de conservación patrimonial mientras se avanza en la conectividad.

- Finalmente en la tercera sección, título III, se establece las disposiciones transitorias. En el marco de las iniciativas urgentes para mejorar la estética de la ciudad, es necesario que todas las conexiones aéreas, redes y postes de servicios que no se ajusten a las

normativas de seguridad o que desentonen con los entornos de los inmuebles sean eliminados o adecuadamente disimulados. Las empresas que ofrecen servicios de electricidad y telecomunicaciones están obligadas a retirar estos elementos de manera gradual dentro de un período máximo de un año desde la implementación de esta normativa, sin necesidad de notificación previa. El incumplimiento de esta disposición conllevará a la aplicación de las sanciones administrativas, civiles y/o penales.

Esta disposición transitoria busca aliviar la urgencia de actuar para preservar y realzar el valor estético y patrimonial del CHC. Subraya una política clara de acción contra la contaminación visual provocada por las infraestructuras aéreas de servicios, exigiendo a las EPS cumplir con un cronograma definido para la eliminación o adecuación de estas estructuras. Es una medida que busca no solo mejorar la imagen urbana sino también asegurar la seguridad y el respeto por el patrimonio histórico. La responsabilidad directa asignada a las EPS y la mención explícita de sanciones subrayan la seriedad con la que se debe tomar esta normativa. En el contexto de las redes ópticas, esta disposición impulsa hacia soluciones que integran tecnologías menos invasivas y más acordes con el entorno histórico, promoviendo así una infraestructura de telecomunicaciones que coexista de manera armónica con el legado cultural del CHC.

3.2.2.3. Ordenanza municipal N° 033-2011 - MPC

Ordenanza municipal que establece el reglamento para la restauración de la imagen urbana y la eliminación de la contaminación visual definiendo los lineamientos técnico-normativos aplicables a las infraestructuras de electricidad, telefonía, televisión por cable, internet, fibra óptica, agua, gas y servicios afines, ubicadas en el CHC, la zona monumental de la ciudad del Cusco, y en la zona de protección del CHC [66].

- Del capítulo I finalidad:

- En el artículo 1 este reglamento tiene por objetivo regular la restauración de la estética urbana y la eliminación de la contaminación visual, definiendo lineamientos técnico-normativos específicos para infraestructuras de telecomunicaciones, tele-

visión por cable, internet, fibra óptica conexos en el CHC y su zona monumental. Se busca la reubicación de estas redes de manera subterránea o adecuadamente oculta, con el propósito de minimizar o eliminar la polución visual.

■ Del capítulo II alcance:

- El artículo 2 es aplicable en toda la extensión del CHC, incluyendo el AE-I (área de estructuración I), la zona monumental y la zona de protección del CHC, identificada como AE-II (área de estructuración II según el plan maestro del CHC).

■ Del capítulo III directrices técnicas:

- En el artículo 3 dispone que todas las infraestructuras existentes de fibra óptica, deben ser instaladas subterráneamente o de manera oculta. La configuración interna o doméstica de estas redes deberá ser igualmente subterránea o integrada de forma que no sea aparente. La colocación de cables en exteriores o fachadas está restringida, excepto bajo circunstancias excepcionales y con autorización previa de la MPC. En todas las situaciones, las redes deben estar adecuadamente cubiertas por *conduits* u otros métodos de camuflaje para su discreción visual.
- En el artículo 4 indica que los dueños y/o administradores de propiedades deberán facilitar accesos subterráneos o encubiertos para la instalación de cables, asegurándose de que estos no sean visibles desde fuera. Las compañías de servicios de electricidad y telecomunicaciones tienen permiso para llevar a cabo trabajos dentro de los predios con el consentimiento previo de los propietarios o responsables de las propiedades. Este artículo establece claramente un marco favorable para una instalación atenta y coordinada.
- En el artículo 5 establece que las entidades que proveen los servicios mencionados en los artículos previos tienen el deber de eliminar las conexiones de redes aéreas, incluyendo aquellas que estén adheridas a muros de propiedad privada o que los utilicen como apoyo, así como las que cruzan las calles por el aire; es importante destacar que este artículo no delimita específicamente las propiedades sujetas a

esta normativa, sino que implica, conforme a la ley, su aplicación a toda el área del **CHC**, sin distinción de su catalogación patrimonial.

- En el artículo 6 indica que los proyectos de nueva construcción, así como los de restauración, rehabilitación y acondicionamiento, deben tener en cuenta las distancias mínimas requeridas entre las instalaciones de fibra óptica, para garantizar la seguridad humana. Asimismo, es obligatorio adaptar estas instalaciones de acuerdo con este reglamento y las normativas aplicables.
- Del capítulo IV licencias: Este capítulo, junto con todos sus artículos que lo integran, subraya la importancia de la obtención de licencias municipales para proyectos que incluyan la instalación de cableados y fibra óptica. Específicamente, se enfatiza que cualquier estructura fija como tableros de control, centrales y similares, no solo necesitan una licencia de construcción sino también una de funcionamiento, asegurándose de que cumplan con las regulaciones de zonificación pertinentes.

Las licencias otorgadas para obras dentro del área designada se sujetan a la condición de que los propietarios gestionen el cableado de acuerdo con las directrices establecidas en este reglamento, asegurando así una integración armoniosa y regulada del sistema de cableado en el entorno urbano.

Además, se prohíbe la colocación de estaciones, subestaciones, tableros o cabinas de redes y cualquier otra instalación que requiera una construcción fija en la vía pública. Las instalaciones existentes deben ser trasladadas a ubicaciones subterráneas o adecuadas dentro de propiedades privadas, promoviendo así una mejora visual del espacio urbano y cumpliendo con los objetivos de descontaminación visual y preservación patrimonial del **CHC**.

- Del capítulo V: En este capítulo establece un marco sancionador por el incumplimiento de las normativas relacionadas con la instalación y manejo de las infraestructuras de servicios de fibra óptica en el área del **CHC**. Las multas por infringir estas directrices varían, y se aplican en función de la gravedad de la falta, siendo el mínimo un 0.5 unidad impositiva tributaria (**UIT**) y el máximo alcanzando hasta 50 **UIT** para casos particularmente graves. Por ejemplo en el artículo undécimo especifica que las empresas de servicios deben obtener permisos de los propietarios para usar muros, paredes y

techos para sus instalaciones. En ausencia de dichos permisos, deben presentar un plan para retirar y reubicar adecuadamente dichas instalaciones.

- Del capítulo VI: Aborda las normativas complementarias, transitorias y finales para la instalación de infraestructuras de telecomunicaciones y eléctricas en el **CHC**, enfatizando la coordinación entre la **MPC**, la gerencia de desarrollo urbano y rural, la secretaría general de gestión del **CHC**, y las principales empresas de servicios. Se establece la necesidad de adaptar las nuevas instalaciones a las normas vigentes, con especial atención a la ocultación de infraestructuras para preservar la estética de la zona. Además, se autoriza a las entidades municipales a ejecutar acciones para el retiro del cableado aéreo, trabajando en conjunto con las empresas mencionadas, siguiendo compromisos previos. Las disposiciones finales asignan a la gerencia de desarrollo urbano y rural la responsabilidad de orientación técnica y a la dirección de relaciones públicas la difusión del reglamento, asegurando su correcta aplicación y cumplimiento.

3.2.2.4. Normas adicionales nacionales en preservación patrimonial

Leyes:

- Ley N° 30696: Establece un marco para la recuperación y valorización del **CHC**, imponiendo restricciones para mantener su integridad arquitectónica y cultural.
- Ley N° 23765: Reconoce ciertos sitios en Cusco como patrimonio cultural, afectando directamente cualquier desarrollo tecnológico en estas áreas.
- Ley N° 27580: Dicta medidas específicas de protección para la ejecución de obras en bienes culturales, lo que incluye la instalación de equipos de telecomunicaciones.
- Ley N° 29090 y ley N° 30494: Regulan las habilitaciones urbanas y edificaciones, incluyendo modificaciones para adaptarse a nuevas tecnologías sin comprometer áreas protegidas.

Decretos:

- DS N° 011-2006-ED: Detalla el reglamento para la ley N° 28296, especificando cómo las intervenciones deben respetar el patrimonio cultural.
- DS N° 011-2006-VIVIENDA: Introduce el reglamento nacional de edificaciones, incluyendo consideraciones para construcciones en zonas históricas.
- DS N° 003-2014-MPC: Regula las intervenciones arqueológicas, esencial para obras en zonas con restos históricos.
- DS N° 022-2016-VIVIENDA: Aborda el acondicionamiento territorial y desarrollo urbano sostenible, con implicaciones para proyectos de telecomunicaciones.
- DS N° 001-2016-MC: Modifica regulaciones sobre patrimonio cultural, ajustando los procedimientos para intervenciones tecnológicas.
- DS N° 011-2017-VIVIENDA: Establece normas sobre licencias de habilitación y edificación en áreas de importancia cultural.
- DS N° 059-2005-RE: Ratifica la convención para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial, impactando la gestión de sitios históricos.

Resoluciones y ordenanzas municipales:

- RL N° 23349: Aprueba la adhesión del Perú a la convención sobre el patrimonio mundial, influyendo en la gestión del CHC.
- RS N° 2900-72-ED y otras: Declara y amplía la zona monumental de Cusco, limitando ciertos desarrollos tecnológicos en la región.

3.3. Análisis del marco regulatorio internacional

3.3.1. Análisis del marco regulatorio internacional en infraestructura de telecomunicaciones

3.3.1.1. ITU-T

En el ámbito de las telecomunicaciones y la implementación de infraestructura óptica, las recomendaciones de la serie G y L de la ITU-T establecen pautas esenciales para el diseño, la instalación y la gestión de redes de fibra óptica, abarcando desde las propiedades fundamentales de la fibra hasta las prácticas avanzadas de tendido de redes. Este conjunto de normativas, al detallar especificaciones técnicas y metodologías de implementación, juega un papel crucial en el desarrollo y optimización de las redes a nivel global.

SERIE G:

- Dentro de la serie G, las recomendaciones desde la ITU-T G.652 hasta la ITU-T G.657 delimitan las características de las fibras ópticas monomodo, atendiendo a sus particularidades geométricas, mecánicas y de transmisión para su uso en diversas aplicaciones, incluyendo las de larga distancia y aquellas que requieren manejo de curvaturas [67], [68], [69], [70], [71] y [72].
- En la vertiente de redes de acceso óptico, las recomendaciones como la ITU-T G.983.1 y ITU-T G.983.2 especifican estructuras y gestión para sistemas PON, permitiendo el despliegue de redes de banda ancha con capacidades avanzadas de gestión y escalabilidad [73] y [74].
- La recomendación ITU-T G.984.1 detalla las especificaciones de una red de acceso óptico diseñada para adaptarse flexiblemente a las demandas de ancho de banda tanto de aplicaciones residenciales como comerciales. Este estándar aborda las configuraciones de sistemas que ofrecen velocidades de transmisión de hasta 2.4 Gbit/s para el tráfico descendente y entre 1.2 Gbit/s y 2.4 Gbit/s para el tráfico ascendente. Se explora la estructura de las GPON, que permiten configuraciones de transmisión tanto simétricas

como asimétricas. Además, se establecen las características fundamentales de las redes GPON en respuesta a las necesidades específicas de los proveedores de servicios de telecomunicaciones, promoviendo una infraestructura más eficiente y escalable [75].

- En lo que respecta al tendido y despliegue de redes, la recomendación ITU-T G.671 subraya la importancia de los componentes ópticos pasivos en la transmisión eficiente a través de redes de acceso y larga distancia, estableciendo un marco de referencia para la evaluación de su rendimiento en diversas condiciones operativas [76].

SERIE L:

Al abordar la tarea de sintetizar las recomendaciones de la ITU-T sobre la instalación y el despliegue de redes ópticas, se destaca especialmente la norma ITU-T L.155 por su enfoque innovador y su potencial para minimizar el impacto en áreas urbanas densamente pobladas o con restricciones específicas, como zonas de patrimonio histórico [15].

- La recomendación ITU-T L.150 se centra en los métodos recomendados para instalar cables de fibra óptica en redes de acceso, abarcando el tendido en conductos, instalaciones aéreas y enterradas, asegurando una infraestructura de telecomunicaciones robusta y adaptable. La ITU-T L.250, aún no publicada oficialmente, anticipa directrices para el diseño y construcción de redes ópticas de acceso, especialmente para FTTH, considerando diversas arquitecturas y actualizaciones de la infraestructura existente. La ITU-T L.102 especifica características y métodos de prueba para cables ópticos destinados a aplicaciones aéreas, excluyendo aquellos con aplicaciones específicas [77], [78] y [79].
- Por su parte, la ITU-T L.152 y ITU-T L.153 introducen técnicas de instalación innovadoras, como el tendido sin zanja y la instalación con minizanjás, que buscan reducir el impacto ambiental y social, agilizando el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en entornos urbanos complicados. La ITU-T L.154 promueve el uso de microzanjas para la instalación subterránea de cables, destacando sus beneficios en términos de costos, impacto ambiental y eficiencia operativa [80], [20] y [81].

- La recomendación ITU-T L.155 como se menciono anteriormente merece una mención especial. Publicada inicialmente como ITU-T L.83 y renumerada como ITU-T L.155 en 2016, esta norma propone una técnica de excavación de zanjas de bajo impacto para redes FTTx. Utilizando miniductos y minicables, esta técnica permite completar la construcción de la red en un solo día, con una intervención mínima en términos de tiempo y espacio. Es especialmente relevante en áreas con restricciones visuales o patrimoniales, ya que la técnica no requiere señalización identificativa de la infraestructura recién instalada. Esto la hace ideal para su aplicación en centros históricos o en zonas urbanas donde el impacto visual y la rapidez de ejecución son críticos [15].

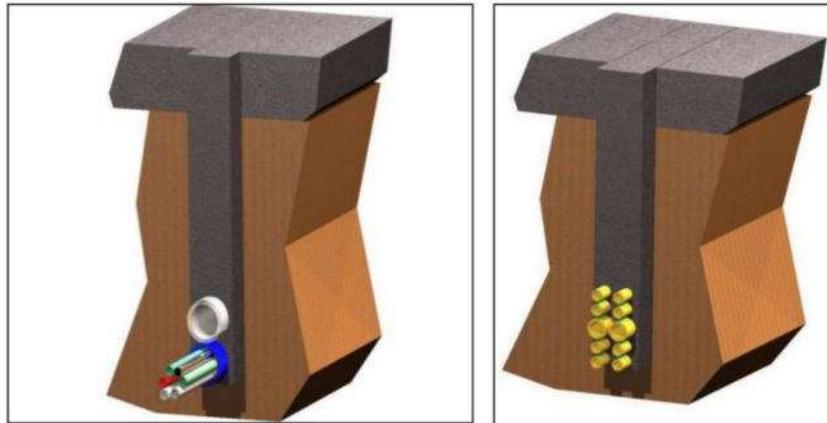


Figura 3.6: Microzanjas ITU-T L.155 [15]

- La ITU-T L.159 aborda la instalación de cables en ductos de alcantarillado, una opción viable para despliegues de bajo impacto, aunque con desafíos específicos en determinadas condiciones, como las inundaciones en áreas propensas a lluvias intensas [82].
- Finalmente, la ITU-T L.162 explica el uso de tecnología de microductos para la instalación de redes ópticas, resaltando su versatilidad para diferentes aplicaciones y la optimización del espacio en infraestructuras existentes, facilitando así la expansión de las redes de telecomunicaciones con un impacto mínimo [83].

3.3.1.2. Normas ISO/IEC

El marco regulatorio establecido por *International Organization for Standardization* (ISO) y *International Electrotechnical Commission* (IEC) establece estándares críticos para el desarrollo y la implementación de tecnologías de fibra óptica y cableado estructurado en diversos entornos. Estos estándares son fundamentales para garantizar la interoperabilidad, eficiencia y calidad en las infraestructuras de telecomunicaciones modernas.

- ISO/IEC 9314 aborda la interfaz de datos distribuida por fibra , diseñada para la transmisión de datos en redes *wide area network* (WAN) o LAN utilizando fibra óptica. Este conjunto de estándares asegura una interconexión de alto ancho de banda entre computadoras y periféricos, estableciendo requisitos para la capa física dependiente del medio de fibra monomodo y proporcionando una estructura para la interoperabilidad entre implementaciones conformes [84].
- Dentro de este marco, ISO/IEC 11801 emerge como un estándar clave, especificando los requisitos generales para los sistemas de cableado estructurado. Esta normativa es esencial para la implementación de infraestructuras de red robustas y flexibles, capaces de soportar una amplia gama de servicios incluyendo voz, datos y video. ISO/IEC 11801 se estructura en varias partes que abordan diferentes entornos, desde oficinas comerciales hasta centros de datos y entornos residenciales, facilitando un enfoque integral para el diseño e implementación de sistemas de cableado estructurado [85].
- Complementariamente, ISO/IEC 14763 proporciona directrices para la instalación y operación de infraestructuras de telecomunicaciones, incluyendo aspectos como la planificación, garantía de calidad, documentación y mantenimiento. Este estándar es vital para asegurar la correcta implementación y funcionamiento de las infraestructuras de cableado en las instalaciones del cliente [86].
- Finalmente ISO/IEC 30129:2015 se enfoca en las redes de unión de telecomunicaciones para edificios y otras estructuras, estableciendo requisitos para el diseño e instalación de conexiones eléctricas que minimizan riesgos y mejoran la inmunidad a interferencias

electromagnéticas. Este estándar subraya la importancia de la seguridad y la integridad en las instalaciones de telecomunicaciones [87].

3.3.1.3. Normativas adicionales internacionales en telecomunicaciones

- La normalización europea, coordinada por el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC), incluye las series *European norm* (EN) 50173, que establecen los requisitos para las instalaciones de redes en diversos entornos, como oficinas, industriales, residenciales y centros de datos. Entre ellas, la EN 50173-1 aborda los requisitos generales para redes locales, mientras que las EN 50174, EN 50346 y EN 50310 especifican la garantía de calidad, las pruebas de cableado y el uso de equipotenciales y tomas de tierra en instalaciones eléctricas en edificios, respectivamente. Estas normativas, obligatorias en la Unión Europea (UE), son esenciales para garantizar la seguridad, eficiencia y calidad en el despliegue de redes ópticas [88], [89], [90] y [91].
- En Estados Unidos, el *American National Standards Institute* (ANSI), *Telecommunications Industry Association* (TIA) y *Electronic Industries Alliance* (EIA) definen estándares para la fabricación, instalación y mantenimiento de sistemas de comunicaciones. La norma ANSI/TIA 568 es fundamental para el cableado en edificios comerciales, incluyendo el cableado de fibra óptica tanto multimodo como monomodo, siguiendo las especificaciones de la EIA 11801. La versión C actual de la norma incide especialmente en el uso de conectores multifibra y en la adaptación a las condiciones del cliente para redes ópticas y tecnología FTTH [92].
- NECA/FOA-301, desarrollada por la *National Electrical Contractors Association* (NECA) y la *Fiber Optic Association* (FOA), establece directrices para la instalación y pruebas de plantas de cables de fibra. Orientada a asegurar una instalación limpia y profesional, esta norma cubre desde la instalación básica hasta pruebas complejas para validar la funcionalidad de las redes ópticas, siendo un recurso vital para contratistas e instaladores en Estados Unidos [93].
- Las normativas de *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) abarcan una amplia gama de estándares relacionados con las tecnologías de redes ópticas, especial-

mente aquellas relativas a *Ethernet* y otros protocolos de comunicación fundamentales para el diseño, implementación y gestión de redes ópticas de alta velocidad y larga distancia. Aunque no se detallaron normas específicas, es importante destacar las normas IEEE 802.3, que son cruciales para el desarrollo de equipos de red *Ethernet*, incluidos los que utilizan fibra [94].

3.3.2. Análisis del marco regulatorio internacional en preservación patrimonial

3.3.2.1. Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural

La convención de la UNESCO de 1972 enfatiza la urgencia de proteger el patrimonio cultural mundial. Destaca que el daño a cualquier parte de este patrimonio es una pérdida grave para toda la humanidad también resalta la importancia de una cooperación internacional que refuerce la acción de los estados, enfocándose en la preservación de bienes de excepcional valor universal [95].

Algunos artículos a destacar son:

- El artículo 4 establece que cada estado miembro de la convención de 1972 tiene la responsabilidad primordial de identificar, proteger, conservar, restaurar y transmitir a las futuras generaciones el patrimonio cultural y natural dentro de su territorio. Se espera que cada estado actúe con sus propios esfuerzos y recursos disponibles, y cuando sea necesario, busque asistencia y cooperación internacional, incluyendo apoyo financiero, artístico, científico y técnico, para cumplir con estos objetivos.
- El artículo 5 de la convención de 1972 compromete a cada estado miembro a implementar, en la medida de lo posible y de acuerdo con sus condiciones particulares, medidas adecuadas en los ámbitos jurídico, científico, técnico, administrativo y financiero. Estas medidas están destinadas a identificar, proteger, conservar, revalorizar y rehabilitar el patrimonio cultural y natural ubicado dentro de su territorio, con el objetivo de asegurar su protección y conservación efectiva.

- El artículo 7 establece la creación de un sistema global de ayuda y cooperación para apoyar a los países firmantes en la preservación y catalogación de su patrimonio cultural y natural, lo cual destaca la importancia de la colaboración internacional en estos esfuerzos.

3.3.2.2. Carta de Venecia, 1964

La carta de venecia de 1964, adoptada por *International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)*, es un documento fundamental para la conservación y restauración de monumentos y sitios históricos. Establece que el patrimonio cultural de la humanidad, reflejo de tradiciones seculares, debe ser preservado como un legado común, promoviendo la colaboración internacional y el respeto por la autenticidad de las obras. La carta reconoce la importancia de conservar tanto la obra artística como el testimonio histórico, enfatizando el mantenimiento constante, la utilidad social de los monumentos, y la preservación de su entorno. Subraya que los monumentos deben permanecer en su contexto histórico y geográfico original, salvo en circunstancias excepcionales que justifiquen su traslado. Lo que consolida una base para reglamentos futuros específicos en zonas monumentales como es el caso del plan maestro del **CHC**. La restauración se considera excepcional, destinada a conservar y revelar valores estéticos e históricos sin caer en reconstrucciones hipotéticas. Se favorece el uso de técnicas modernas de conservación, siempre que no alteren el aspecto del monumento. La carta aboga por la armonía entre los monumentos y su entorno, incluidos los conjuntos urbanos y rurales, y promueve la conservación integral de sitios monumentales y el tratamiento cuidadoso de las excavaciones arqueológicas, evitando reconstrucciones que no se basen en evidencia sólida. El documento enfatiza la documentación y publicación exhaustiva de todos los trabajos de conservación, restauración y excavación, asegurando que la información esté disponible para investigadores y el público. La carta de Venecia sirve como guía para la intervención responsable en el patrimonio cultural, respetando su integridad y promoviendo su comprensión y aprecio por generaciones futuras. Este marco, establecido en Venecia y respaldado por expertos internacionales, sigue siendo un punto de referencia esencial para la protección patrimonial a nivel global [96].

3.3.2.3. Recomendación sobre la conservación y gestión de centros históricos, inscritos en la lista del patrimonio mundial - UNESCO 2007

La recomendación sobre la conservación y gestión de centros históricos inscritos en la lista del patrimonio mundial de la UNESCO, realizada en San Petersburgo en 2007, resalta la importancia de compartir experiencias y conocimientos en la gestión de centros históricos. Los esfuerzos de las autoridades de San Petersburgo y de la federación rusa por organizar este foro de discusión fueron ampliamente elogiados por los participantes, quienes destacaron la importancia de estas iniciativas para enfrentar los desafíos globales en la conservación de ciudades históricas. Este encuentro pone de manifiesto el compromiso internacional con la preservación del patrimonio urbano, incluyendo a Perú, donde diversos sitios, como la ciudad del Cusco, reconocida como patrimonio mundial desde 1983, resaltan la riqueza y diversidad del legado cultural a proteger y gestionar de manera efectiva [97].

Este documento resalta fundamentalmente cuatro conceptos importantes:

- **Discusión sobre escenarios urbanos históricos:**

En un debate sobre paisajes históricos urbanos, con contribuciones del profesor Whithand, el Dr. Peter Fowler, y el Profesor Gabrielli, se discutió si estos paisajes pueden clasificarse como un tipo de paisaje cultural según las directrices prácticas de patrimonio mundial. Sin entrar en detalles sobre diferentes tipos de desarrollo urbano, se llegó a la conclusión general de que sí califican como tales. En particular, se mencionó el éxito de Italia en la aplicación de enfoques paisajísticos para la protección y conservación de ciudades históricas. Para avanzar en la comprensión y gestión de estos paisajes, se propuso explorar cuatro áreas principales; afinar la definición de paisaje histórico urbano, precisar impactos en los valores, identificar herramientas para evaluar estos impactos y examinar la dinámica entre las escalas local e internacional en la protección y conservación.

- **Valor excepcional universal, veracidad e integridad:**

En una sesión sobre el patrimonio mundial, se discutieron los conceptos de valor universal excepcional, autenticidad e integridad, esenciales para la nominación y con-

servación de sitios de patrimonio mundial. El valor universal excepcional se destaca por su importancia trascendental más allá de lo nacional, incluyendo valores tanto tangibles como intangibles.

- **Establecimiento de la delimitación y áreas de protección:**

Para garantizar una protección eficaz de los sitios del patrimonio mundial, es esencial determinar con precisión sus límites y crear áreas de amortiguamiento adecuadas que tengan en cuenta el impacto y el interés comunitario. Estas áreas, lejos de ser homogéneas, sirven como capas protectoras adicionales contra posibles amenazas a la autenticidad e integridad del sitio, abarcando factores como el desarrollo, accesibilidad, presión social, cambios económicos, impacto visual y estético, y la topografía.

Un ejemplo concreto de esto es la delimitación de los confines de la zona de protección circundante del **CHC AE-II**, que define la extensión de los espacios urbanos contiguos al área de especial interés **AE-I**. Esta zona actúa como una barrera de transición que fusiona los valores urbanos del sector **AE-I** con los de la región metropolitana, sirviendo de enlace entre la estética histórica y la modernidad de otras zonas de la ciudad. Sus fronteras están claramente especificadas por los segmentos indicados en la figura 1.1.

- **Enfoque general para la preservación de los centros históricos y principales indicadores:**

Este concepto indica que para preservar efectivamente los centros históricos como patrimonio mundial, se debe considerar el valor universal excepcional de las ciudades como un elemento evolutivo, enfocándose en el paisaje cultural y la integración del conjunto urbano con el espíritu de la ciudad. Es crucial describir y cuantificar los componentes tangibles e intangibles de la ciudad para monitorear y evaluar los esfuerzos de conservación, identificando factores sociales, culturales, económicos y ecológicos.

3.3.2.4. Carta de Atenas 1931

La carta de Atenas de 1931 es un documento fundamental que promueve la colaboración internacional para la conservación del patrimonio cultural, subrayando la importancia de proteger los monumentos históricos y artísticos frente a intereses privados y el avance

de la modernización. Establece principios clave para la restauración y mantenimiento de monumentos, evitando alteraciones integrales y priorizando la preservación sobre la reconstrucción. Además, enfatiza la necesidad de adaptar las leyes de protección patrimonial a las circunstancias locales y la opinión pública para minimizar la resistencia y respetar los sacrificios de los propietarios en beneficio del interés general.

En el contexto de un posible despliegue de redes ópticas en áreas patrimoniales, la carta puede dar directrices sobre como se debe considerar el entorno de los monumentos evitando impactos visuales negativos, como infraestructura moderna que desentone. En la parte final, la carta enfatiza la importancia de documentar y preservar el patrimonio a través de la creación de inventarios nacionales y la difusión de conocimientos sobre métodos de conservación por lo que es importante su catalogación [98].

3.3.2.5. Normas de Quito 1967

La norma de Quito de 1967 resalta la importancia crítica de preservar y utilizar el patrimonio monumental dentro de un esfuerzo colaborativo interamericano. Este documento subraya el valor económico del patrimonio cultural, enfatizando su potencial para fomentar el desarrollo socioeconómico regional a través de su inclusión en un plan sistemático que equilibre conservación y crecimiento. Específicamente, establece una clasificación para el espacio urbano alrededor de monumentos y sitios de relevancia, definiendo zonas de protección para su mejor gestión y conservación:

Zona de protección rigurosa: Para áreas de alta densidad de elementos monumentales o valor ambiental, exigiendo el más alto nivel de protección.

Zona de protección o respeto: Áreas importantes que admiten una flexibilidad mayor, asegurando la preservación de su esencia.

Zona de protección del paisaje urbano: Busca la cohesión del entorno construido con el paisaje natural, favoreciendo una integración visual y funcional.

Estas zonas buscan garantizar la valoración y protección adecuada del patrimonio, alineando su gestión con el interés público y su función social. La catalogación detallada de estos bienes es crucial para su protección efectiva y su integración en estrategias de desarrollo. La norma de Quito urge a una acción coordinada para proteger el patrimonio cultural americano, considerándolo fundamental para el futuro del continente [99].

3.3.2.6. Carta de Washington carta internacional para la conservación de ciudades históricas 1987

La carta de Washington, una guía internacional para la conservación de ciudades históricas y áreas, fue ratificada en la asamblea general del ICOMOS en Washington D.C. en octubre de 1987. Esta carta pone énfasis en la necesidad de una planificación cuidadosa, lo que ha servido como base para la creación del plan maestro para el CHC [100].

- Específicamente, los artículos 5 y 6 subrayan la relevancia del proceso de planificación. El artículo 5, por ejemplo, insta a la elaboración de un plan de conservación para áreas urbanas históricas, basado en estudios interdisciplinarios previos. Estos deben incluir análisis arqueológicos, históricos, arquitectónicos, técnicos, sociológicos y económicos, para una comprensión integral de la zona.

Este plan debería definir con precisión las directrices y procedimientos sobre aspectos legales, administrativos y financieros, buscando un balance entre la preservación del patrimonio y las necesidades de la comunidad, como por ejemplo, la integración de tecnologías de telecomunicaciones. Las directrices detalladas apoyan y fomentan la ejecución de nuestro estudio, subrayando su importancia y viabilidad.

- En el artículo 6 mencionan que mientras haya ausencia de un plan de conservación, todas las actividades de conservación deben adherirse a los principios y técnicas descritos tanto en esta carta como en la carta de Venecia.

- Continuando con nuestro propósito de contextualizar y tras un análisis exhaustivo de todos los artículos, nos detenemos en el artículo 8, que subraya la importancia de que cualquier nueva función o modernización, como la incorporación de infraestructura tecnológica, tenga que respetar el carácter y la estructura original de las áreas urbanas históricas. Por ejemplo, la introducción de redes de fibra óptica debe planificarse cuidadosamente para asegurar que su instalación se alinee con la conservación del patrimonio, adaptándose de manera que complemente y no altere su esencia.
- Subrayamos el artículo 11 puesto que éste, enfatiza la importancia de preservar la estructura original de las áreas urbanas históricas. En el contexto de implementar redes ópticas, debe garantizarse que estas modernizaciones no interrumpan la trama urbana.
- Finalmente destacamos el artículo 14 porque señala la importancia de implementar medidas en zonas urbanas históricas para contrarrestar disturbios como la contaminación y las vibraciones, con el fin de preservar el patrimonio y garantizar la seguridad y bienestar de los habitantes. Se interpreta que la mención a contaminación incluye también la contaminación visual, derivada, por ejemplo, del exceso de cableado, como se discutió en capítulos anteriores.

3.3.2.7. Normativas adicionales internacionales en preservación patrimonial

- Documento sobre los principios de restauración 1972
- Manifiesto de 1975, carta europea sobre la conservación del patrimonio
- Conclusiones del simposio de Quito sobre la conservación de núcleos históricos 1977
- Documento de 1987 de Washington
- Directrices de Burra para la preservación patrimonial 1999
- Principios de Cracovia para la conservación del patrimonio edificado 2000
- Directrices sobre el patrimonio vernáculo edificado 1999

3.4. Propuesta del perfil normativo

3.4.1. Consideraciones iniciales

Esta sección se centra en delineaciones y atributos cruciales que deben contemplarse para establecer un marco regulatorio efectivo para proyectos de despliegue de redes ópticas en zonas monumentales. Pretende regular específicamente el despliegue de redes ópticas en el **CHC**; sin embargo contribuye a los lineamientos generales que debería tener un despliegue de red óptica en el contexto de preservación patrimonial, de acuerdo a su jerarquía normativa como se vio en el capítulo 2 [12].

Nuestra estrategia es abordar el confrontamiento de los marcos regulatorios de dos ámbitos discutidos previamente; zonas monumentales y telecomunicaciones. Gracias al análisis realizado tanto a nivel nacional como internacional, y complementado por los hallazgos de la primera sección del presente capítulo sobre la jurisprudencia regulatoria, tenemos una visión clara de las áreas geográficas y los servicios que deben ser regulados.

Esta preparación busca definir las características específicas que una normativa debería incorporar para el despliegue de redes ópticas. Como referencia para este proceso, podemos utilizar el manual de técnica legislativa de tercera edición; no obstante, es crucial adaptar este recurso a nuestro enfoque de ingeniería, tal como se establece en nuestra metodología. Así, las recomendaciones y propuestas se fundamentan en su enfoque técnico, asegurando que el marco regulatorio sea pertinente y funcional para este tipo de infraestructuras [101].

A continuación, presentamos el resumen de todo el marco regulatorio que se vio hasta el momento para una mejor referencia:

Tabla 3.6: Resumen del marco regulatorio nacional

Número o código de la normativa	Nombre de la Normativa	Área de regulación para el Proyecto
Plan CHC	Actualización plan maestro del Centro Histórico del Cusco	Conservación patrimonial
Decreto supremo N° 013-93-TCC	Texto único ordenado de la ley de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Ley N° 29904	Ley de promoción de la banda ancha y construcción de la red dorsal nacional de fibra óptica	Telecomunicaciones
Decreto supremo N° 014-2013-MTC	Reglamento de la ley N° 29904	Telecomunicaciones
Ordenanza N° 115-MC	Ordenanza municipal N° 115-MC	Conservación patrimonial
Ley N° 29022	Ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Ley N° 30228	Ley que modifica la ley 29022, ley para la expansión de infraestructura en telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Ley N° 28296	Ley general del patrimonio cultural de la nación	Conservación patrimonial
Decreto supremo N° 003-2015-MTC	Aprobación del reglamento de la ley N° 29022	Telecomunicaciones
Decreto supremo N° 06-94-TCC	Reglamento general de la ley de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Decreto supremo N° 020-2007-MTC	Texto único ordenado del reglamento general de la ley de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Plan de desarrollo urbano 2023	Plan de desarrollo urbano Cusco al 2023	Conservación patrimonial
PMCHC2018Reglamento	Reglamento del plan maestro del Centro Histórico del Cusco 2018-2028	Conservación patrimonial
Decreto supremo N° 011-2006-MVCS	Reglamento nacional de edificaciones	Telecomunicaciones
CNE_Utilización_2006	Código nacional de electricidad - utilización	Telecomunicaciones
CNE_Suministro_2011	Código nacional de electricidad - suministro	Telecomunicaciones
Norma EC.040	Redes e instalaciones de comunicaciones	Telecomunicaciones
Norma A.110	Comunicación y transporte	Telecomunicaciones
Norma EM.020	Instalaciones de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Reglamento de la Ley N° 29022	Reglamento de la ley N° 29022 - ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Decreto supremo N° 007-2024-MTC	Reglamento de la ley N° 31595	Telecomunicaciones
Ley N° 31595	Ley que promueve la descontaminación ambiental y establece el retiro del cableado aéreo en desuso o en mal estado en las zonas urbanas del país.	Telecomunicaciones
Ordenanza N° 033-2011-MC	Reglamento de la ordenanza municipal No. 033-2011 recuperación de la imagen urbana y descontaminación visual	Conservación patrimonial
Decreto supremo N° 039-2007-MTC	Aprobación del reglamento de la ley N° 29022	Telecomunicaciones
Ley N° 28295	Ley que regula el acceso y uso compartido de infraestructura de uso público para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Decreto supremo N° 009-2005-MTC	Aprobación del reglamento de la Ley N° 28295	Telecomunicaciones
Resolución del consejo directivo N° 008-2006-CD-OSIPTEL	Fórmula de contraprestación por uso compartido de infraestructura	Telecomunicaciones
Decreto Legislativo N° 1019	Ley de acceso a la infraestructura de proveedores clave en la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Resolución del consejo directivo N° 020-2008-CD-OSIPTEL	Disposiciones complementarias de la ley de acceso a la infraestructura de los proveedores importantes	Telecomunicaciones
Resolución del consejo directivo N° 182-2020-CD-OSIPTEL	Procedimiento para el retiro de elementos no autorizados en infraestructura pública	Telecomunicaciones
Decreto de urgencia N° 041-2019	Disposiciones para la ejecución de proyectos de redes e infraestructura de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Decreto legislativo N° 1509	Contratación de servicios en redes de infraestructura de telecomunicaciones	Telecomunicaciones
Ley N° 30696	Ley que declara de interés nacional la recuperación y puesta en valor del Centro Histórico de Cusco	Conservación patrimonial
Ley N° 23765	Ley que declara como patrimonio cultural de la nación varios lugares de Cusco	Conservación patrimonial
Ley N° 27580	Ley que dispone medidas de protección para la ejecución de obras en bienes culturales	Conservación patrimonial
Ley N° 29090	Ley de regulación de habilitaciones urbanas y de edificaciones	Conservación patrimonial
Ley N° 30494	Ley que modifica la ley 29090	Conservación patrimonial
DS N° 011-2006-ED	Detalle del reglamento para la ley N° 28296	Conservación patrimonial
DS N° 011-2006-VIVIENDA	Reglamento nacional de edificaciones	Telecomunicaciones
DS N° 003-2014-MPC	Reglamento de intervenciones arqueológicas	Conservación patrimonial
DS N° 022-2016-VIVIENDA	Reglamento de acondicionamiento territorial y desarrollo urbano sostenible	Conservación patrimonial
DS N° 001-2016-MC	Modificación del reglamento de la ley general del patrimonio cultural de la nación	Conservación patrimonial
DS N° 011-2017-VIVIENDA	Reglamento de licencias de habilitación urbana y licencias de edificación	Conservación patrimonial
DS N° 059-2005-RE	Ratificación de la convención para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial	Conservación patrimonial
RL N° 23349	Adhesión del Perú a la convención para la protección del patrimonio mundial cultural y natural	Conservación patrimonial
RS N° 2900-72-ED	Declaración y ampliación de la zona monumental del cusco	Conservación patrimonial

Tabla 3.7: Resumen del marco regulatorio internacional

Número de Código de la Normativa	Nombre de la Normativa	Área de Regulación
ITU-T G.652	Características de una fibra óptica monomodo y cable	Telecomunicaciones
ITU-T G.653	Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada	Telecomunicaciones
ITU-T G.654	Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado	Telecomunicaciones
ITU-T G.655	Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula	Telecomunicaciones
ITU-T G.656	Características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha	Telecomunicaciones
ITU-T G.657	Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión	Telecomunicaciones
ITU-T G.982	Redes de acceso óptico para soportar servicios hasta la velocidad primaria ISDN o velocidades de bits equivalentes	Telecomunicaciones
ITU-T G.983.1	Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas	Telecomunicaciones
ITU-T G.983.2	Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red para redes ópticas pasivas de banda ancha	Telecomunicaciones
ITU-T G.984.1	Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits características generales	Telecomunicaciones
ITU-T G.671	Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos	Telecomunicaciones
ITU-T L.155	Técnica de impacto reducido para la excavación de zanjas para las redes FTTx	Telecomunicaciones
ITU-T L.150	Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso	Telecomunicaciones
ITU-T L.250	Topologías de las redes de acceso óptico para los servicios de banda ancha	Telecomunicaciones
ITU-T L.102	Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas	Telecomunicaciones
ITU-T L.152	Utilización de las técnicas de tendido sin zanja en la construcción de infraestructuras subterráneas para la instalación de cables de telecomunicaciones.	Telecomunicaciones
ITU-T L.153	Técnica de instalación con minizanjás	Telecomunicaciones
ITU-T L.154	Técnica de instalación con microzanjas	Telecomunicaciones
ITU-T L.159	Instalación de cables en ductos de alcantarillado	Telecomunicaciones
ITU-T L.162	Tecnología de microductos y sus aplicaciones	Telecomunicaciones
Normas ISO/IEC 9314-21:2000	Tecnología de la información, interfaz distribuida de datos por fibra	Telecomunicaciones
ISO/IEC 11801-1:2017	Tecnologías de la información cableado genérico para instalaciones del cliente parte 1 requisitos generales	Telecomunicaciones
Normas ISO/IEC 14763-1	Tecnología de la información, implementación y operación del cableado de permisos del cliente parte 1 administración	Telecomunicaciones
Normas ISO/IEC 30129:2015	Tecnologías de la información, redes de unión de telecomunicaciones para edificios y otras estructuras	Telecomunicaciones
UNE-ES 50173-1:2018	Tecnología de la información sistemas de cableado genérico parte 1 requisitos generales	Telecomunicaciones
EN 50174-1:2018	Tecnología de la información instalación del cableado parte 1 especificación de la instalación y aseguramiento de la calidad	Telecomunicaciones
EN 50346:2004/A2:2011	Tecnologías de la información, instalación de cableado, ensayo de cableados instalados	Telecomunicaciones
EN 50310:2016	Redes de enlace de telecomunicaciones para edificios y otras estructuras	Telecomunicaciones
UNESCO 1972	Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural	Conservación patrimonial
Carta de Venecia 1964	Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios	Conservación patrimonial
UNESCO 2007	Recomendación sobre la conservación y gestión de centros históricos inscritos en la lista del patrimonio mundial	Conservación patrimonial
Carta de Atenas 1931	Carta de Atenas para la conservación de los monumentos históricos	Conservación patrimonial
Normas de Quito 1967	Normas de Quito informe final de la reunión sobre conservación y utilización de monumentos y lugares de interés histórico y artístico	Conservación patrimonial
ICOMOS 1987	Carta internacional para la conservación de ciudades históricas y áreas urbanas históricas (Carta de Washington 1987)	Conservación patrimonial
Documento sobre los principios de restauración 1972	Documento sobre los principios de restauración	Conservación patrimonial
Manifiesto de 1975	Carta europea sobre la conservación del patrimonio arquitectónico	Conservación patrimonial
Simposio de Quito 1977	Conclusiones del simposio de Quito sobre la conservación de núcleos históricos en el contexto del crecimiento urbano contemporáneo	Conservación patrimonial
Documento de Washington 1987	Estrategias internacionales para la salvaguarda de ciudades y zonas históricas	Conservación patrimonial
Directrices de Burra 1999	Directrices de Burra para la preservación patrimonial	Conservación patrimonial
Principios de Cracovia 2000	Principios de Cracovia para la conservación y restauración de patrimonio edificado	Conservación patrimonial
Directrices sobre el patrimonio Vernáculo 1999	Directrices sobre el patrimonio vernáculo edificado	Conservación patrimonial

Tras un análisis de leyes, normas, estándares, cartas y ordenanzas, con un enfoque dual que abarca tanto el despliegue de infraestructura alámbrica de telecomunicaciones como la preservación patrimonial a nivel nacional e internacional, hemos obtenido una clara visión del contexto promocional que podría caracterizar a una normativa peruana enfocada en los servicios de telecomunicaciones dentro del **CHC**. Es así que determinamos que la opción más viable es un despliegue de bajo impacto. Este enfoque asegura una infraestructura adecuada para el contexto y sobre este principio toda la propuesta debe estar encaminada. En consecuencia; los principales servicios a regular en su capa física son:

- Servicio portador
- Servicio de telefonía fija por cable
- Servicio de radiodifusión por cable
- Circuito cerrado de televisión

Los mismos se derivan de su jurisdicción, previamente analizada, tal como se especifica en la tabla 3.3.

3.4.2. Síntesis del análisis del marco regulatorio y optimización de normativas

Gracias al análisis del marco regulatorio, hemos determinado la importancia de alinear una propuesta de diseño con los marcos regulatorios existentes, tanto a nivel local como internacional. Este análisis ha identificado áreas en las que las normativas pueden ser optimizadas para facilitar la integración de tecnologías avanzadas, sin comprometer la integridad de los entornos patrimoniales. La siguiente tabla sintetiza este análisis y propone estrategias específicas para mejorar la aplicación de estas normativas. Cada entrada detalla una normativa pertinente y describe una estrategia sugerida para su optimización, enfocándose en cómo estas pueden adaptarse para apoyar de manera efectiva la instalación y operación de infraestructuras de telecomunicaciones modernas en contextos sensibles. El objetivo es sentar las bases para una propuesta normativa específica para este tipo de despliegues.

Tabla 3.8: Normativas y propuestas parte 1

N°	Nombre de la normativa	Descripción de la propuesta y uso
1	Texto único ordenado de la ley de las telecomunicaciones	Esta normativa debe ser estructurada para garantizar flexibilidad y adaptabilidad, permitiendo actualizaciones periódicas que incorporen los avances tecnológicos y respondan de manera efectiva a las necesidades emergentes del sector de telecomunicaciones.
2	Texto único ordenado del reglamento general de la ley de telecomunicaciones	Esta normativa fue empleada dentro del marco teórico para realizar un sondeo exhaustivo de todos los servicios de telecomunicaciones existentes, con el objetivo de establecer una base sólida para la evaluación y análisis subsiguiente del sector.
3	RNE norma EC.040 redes e instalaciones de comunicaciones	Esta normativa sirve como guía para el diseño y construcción de infraestructura de telecomunicaciones en zonas urbanizadas. Permite definir el número de lotes por área según el tamaño del frente y exige la instalación de una caja de distribución por área, ubicada de manera equidistante. Proponemos la actualización de esta normativa para incluir el uso de materiales modernos como el HDPE, que es óptimo para redes subterráneas, ya que actualmente solo se considera el uso de PVC para el acceso a los lotes y la conexión con cámaras de distribución. Además, sugerimos actualizar las especificaciones para incorporar las nuevas dimensiones de materiales disponibles en el mercado y proponemos la revisión del uso exclusivo de concreto para las cámaras de distribución, ampliando las opciones a otros materiales más eficientes y adaptados a las tecnologías actuales.
4	RNE norma A.110 comunicación y transporte	Destacamos la importancia de adherirse a las advertencias de evitar construcciones en zonas monumentales, aunque la normativa actualmente se limite a estaciones de radio y televisión. Proponemos la extensión de estas restricciones a la instalación de nodos de acceso y transporte en telecomunicaciones, asegurando que estas estructuras también cumplan con las mismas limitaciones para proteger el patrimonio cultural. Además, sugerimos la implementación de auditorías regulares en las redes de telecomunicaciones para garantizar el cumplimiento continuo de estas restricciones y promover la conservación eficaz del entorno histórico y cultural.
5	RNE norma EM.020 instalaciones de comunicaciones	Subrayamos la importancia de cumplir con la exigencia de esta normativa que estipula que todo proyecto técnico de instalación de telecomunicaciones debe ser validado por un ingeniero electrónico o de telecomunicaciones, una medida esencial para evitar el intrusismo profesional y reducir la informalidad en el sector. Utilizamos la definición actual de todos los componentes, como las cámaras de telecomunicaciones; no obstante, proponemos una actualización específica para infraestructuras dedicadas a redes ópticas pasivas. Además, sugerimos la estandarización de procedimientos de mantenimiento para redes ópticas pasivas que utilicen cámaras subterráneas poco profundas, diseñadas para que no sea necesario que los técnicos entren físicamente a ellas, facilitando así las operaciones de mantenimiento y asegurando mayor seguridad y eficiencia.
6	Código nacional de electricidad	Enfocamos la revisión de esta normativa hacia la optimización de las medidas de seguridad, proponiendo actualizaciones que reflejen flexibilidad adecuada para el despliegue de redes ópticas pasivas, sin comprometer la seguridad del personal involucrado. Resaltamos la importancia crítica de las secciones del código dedicadas al tendido aéreo y subterráneo, fundamentales para la implementación de infraestructuras de telecomunicaciones contemporáneas. Es imperativo garantizar el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad, especialmente en zonas como el CHC donde se observan incumplimientos en el cableado aéreo dieléctrico. Además, instamos a la actualización y mantenimiento riguroso de la documentación técnica y a fortalecer la coordinación con entidades e instituciones para asegurar una expansión infraestructural que soporte servicios avanzados y mejore la conectividad. Este enfoque integrado y meticuloso permitirá acomodar la dinámica evolución de las telecomunicaciones con consideraciones de seguridad y eficiencia mejoradas.
7	Ley N° 29022 ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones	Esta ley facilita el desarrollo organizado y eficiente de la infraestructura de telecomunicaciones, promoviendo el uso del espacio público para el despliegue de redes en calles, avenidas y pasajes, incluyendo áreas del CHC. Aunque la normativa contempla la aprobación automática de permisos para obras en terrenos públicos o privados, resaltamos la importancia de proceder con precaución en zonas históricas y monumentales. Es crucial adaptar el proceso de aprobación para asegurar que no se comprometan la accesibilidad, la integridad de espacios públicos, la estética visual, ni el patrimonio cultural. Proponemos ajustes específicos en la legislación para garantizar evaluaciones detalladas en estos contextos, enfatizando la protección del patrimonio y la armonía visual en el diseño y ejecución de las infraestructuras de telecomunicaciones.

Tabla 3.9: Normativas y propuestas parte 1

N°	Nombre de la normativa	Descripción de la propuesta y uso
8	ITU-T serie G	<p>Recomendamos la adopción estricta de las normativas de la serie ITU-T G, desde G.652 a G.657, que delimitan especificaciones cruciales para fibras ópticas monomodo adecuadas para aplicaciones de larga distancia y configuraciones que involucren curvaturas significativas. Enfocamos particular atención en las directrices de G.983 y G.984, las cuales establecen bases sólidas para el diseño y gestión de redes PON de banda ancha, aptas para GPON con capacidades hasta 2.4 Gbit/s, ajustables a variadas exigencias tanto comerciales como residenciales. La norma G.671, que resalta la importancia de los componentes ópticos pasivos, será esencial para asegurar la eficiencia operativa de nuestra red. Proponemos una integración cuidadosa de estas normativas para garantizar que la selección de componentes y la estrategia de implementación estén alineadas con los estándares internacionales, optimizando así el rendimiento y la escalabilidad de la red en respuesta a las condiciones locales específicas y los requisitos emergentes del mercado.</p>
9	ITU-T serie L	<p>Promovemos enfáticamente la adopción de técnicas avanzadas de instalación, como las sin zanja y microzanjas, delineadas en la normativa ITU-T L.155, para mitigar el impacto ambiental y facilitar la expansión de infraestructuras de telecomunicaciones en zonas urbanas y áreas protegidas. Estas técnicas permiten la instalación rápida de redes, minimizando la perturbación en tiempo y espacio, lo cual es esencial en áreas con restricciones visuales o patrimoniales, como los centros históricos. Aquí, la reducción del impacto visual y la agilización de la ejecución son imperativos. Proponemos la ampliación del uso de esta técnica a más zonas sensibles y la actualización continua de la normativa para incorporar innovaciones tecnológicas que disminuyan aún más los impactos ambiental y visual.</p>
10	Normas ISO/IEC	<p>Proponemos la adaptación de las normas ISO/IEC para abarcar los avances tecnológicos recientes y expandir su aplicación a nuevas áreas emergentes dentro del sector de telecomunicaciones, con el fin de mejorar la flexibilidad y la capacidad de respuesta a las demandas cambiantes del mercado. Las normas ISO/IEC son fundamentales para establecer estándares críticos en fibra óptica y cableado estructurado, garantizando la interoperabilidad y la calidad en diversas aplicaciones. Específicamente, ISO/IEC 9314 se centra en la interfaz de datos para transmisiones de alto ancho de banda en redes WAN o LAN, mientras que ISO/IEC 11801 especifica los requisitos para el cableado estructurado que soporta servicios de voz, datos y video en diferentes entornos. Además, ISO/IEC 14763 ofrece directrices para la instalación y operación de infraestructuras de telecomunicaciones. ISO/IEC 30129:2015, por su parte, se centra en el diseño de conexiones eléctricas para telecomunicaciones, enfatizando la seguridad y la inmunidad a interferencias. Proponemos una revisión y actualización continuas de estas normativas para incluir tecnologías emergentes que reduzcan aún más el impacto ambiental y mejoren la eficiencia operativa.</p>

Tabla 3.10: Normativas y propuestas parte 1

N°	Nombre de la normativa	Descripción de la propuesta y uso
11	Ley general del patrimonio cultural de la nación	Subrayamos la importancia de la ley general del patrimonio cultural de la nación como un documento crucial para los delineamientos de conservación patrimonial. Esta ley establece los fundamentos legales para la protección y gestión del patrimonio cultural, asegurando que todas las actividades de desarrollo, incluyendo las infraestructuras de telecomunicaciones, se realicen respetando los valores históricos y culturales de la nación. Reconocemos la autoridad y la función reguladora de los entes encargados de la implementación de esta ley y proponemos una colaboración más estrecha entre estos organismos y los desarrolladores de proyectos de telecomunicaciones. Proponemos la inclusión de protocolos específicos en los proyectos de despliegue de redes que consideren detalladamente el impacto en áreas de significado cultural, asegurando que las tecnologías emergentes coexistan de manera armoniosa con el legado histórico.
12	Plan maestro del CHC	El plan maestro del CHC, especialmente la delimitación del sector AE-1, ha sido instrumental en la determinación de sectores críticos para la gestión del CHC, incluyendo el registro de casas clasificadas como patrimonio nacional. Esta información es vital para comprender la importancia histórica y cultural de la zona y es esencial para diseñar una red de telecomunicaciones que respete y preserve el patrimonio. Además, el análisis del número total de lotes nos permite dimensionar adecuadamente el diseño de la red, asegurando que la infraestructura sea adecuada y no invasiva. Antes de proceder con cualquier intervención en el CHC, es mandatorio que cada edificación sea cuidadosamente catalogada y reevaluada para garantizar que las modificaciones no comprometan su integridad estructural ni su valor histórico. Utilizamos el mapa PP-06 del tomo I para revisar la catalogación de inmuebles y evaluar su susceptibilidad a tendidos aéreos y por fachada. Asimismo, el mapa PP-08 se consulta para identificar los grados de intervención prioritaria, lo que facilita la planificación de infraestructuras de telecomunicaciones que minimicen el impacto visual y estructural en áreas sensibles.
13	Reglamento del plan maestro del CHC	En el diseño de la red y la formulación del perfil normativo, seguimos rigurosamente los lineamientos establecidos por el reglamento del plan maestro del CHC, que dicta que los conductos de servicios como electricidad, telefonía y, específicamente, fibra óptica, así como postes y otras estructuras de apoyo, deben integrarse de manera que no perturben la estética urbana. Esto requiere que todas las instalaciones relevantes sean subterráneas, preservando la integridad visual del entorno histórico. Es fundamental que cualquier nueva instalación o actualización tecnológica realizada por las empresas prestadoras de servicio incorpore la eliminación de elementos obsoletos, como cableados aéreos y postes inutilizados. Esto favorece soluciones subterráneas que se alinean con los objetivos de conservación y armonización visual del CHC. Adoptamos los lineamientos basados en dos pilares fundamentales, el principio de prevención y el principio de preservación, que son aplicados en la esencia de toda nuestra propuesta de diseño. Además, destacamos la importancia de adherir a las regulaciones y planificación en construcciones nuevas, aplicando el principio de mimetización para garantizar la viabilidad del proyecto sin comprometer la estética histórica. Reconocemos y respetamos la autoridad de las entidades regulatorias directas involucradas en este proceso, asegurando una colaboración efectiva para la implementación de estas directrices.
14	Plan de desarrollo urbano cusco	En línea con la visión del plan de desarrollo urbano de Cusco, que apunta hacia la transformación de la ciudad en un espacio conectado e inteligente, proponemos diseñar y desplegar infraestructuras de telecomunicaciones que no solo mejoren la conectividad, sino que también integren sistemas avanzados de seguridad, inspirándonos en modelos de ciudades como Trujillo y Lima. Este enfoque no solo fortalecerá la infraestructura tecnológica de Cusco, sino que también facilitará la implementación de soluciones inteligentes en gestión urbana y seguridad pública. Proponemos que el diseño de esta red de telecomunicaciones adopte tecnologías de vanguardia y prácticas de implementación que respeten el patrimonio cultural y la estética de Cusco, asegurando que todas las instalaciones sean discretas y estén alineadas con las normativas de conservación urbana y patrimonial. Al hacerlo, Cusco no solo se alineará con las tendencias globales de las ciudades inteligentes, sino que también establecerá un nuevo estándar en la integración de tecnología avanzada en un contexto históricamente significativo.
15	Ordenanza municipal N° 033-2011 - MPC	Proponemos un enfoque integrado para el diseño y despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones en el ámbito municipal. Esta ordenanza subraya la necesidad de preservar y mejorar la estética urbana, lo que nos guía a adoptar prácticas de instalación que minimicen el impacto visual y físico en el entorno urbano. Proponemos utilizar técnicas de instalación subterránea para los componentes de la red, evitando así cualquier alteración innecesaria de la vista urbana y asegurando que la infraestructura de telecomunicaciones contribuya positivamente a la visión de una ciudad ordenada y visualmente atractiva. Además, todas las nuevas instalaciones y actualizaciones tecnológicas deben ser planificadas y ejecutadas con un énfasis en la compatibilidad estética con el entorno urbano, asegurando que cualquier intervención refuerce los objetivos de conservación de la imagen de la ciudad establecidos por esta ordenanza.

Tabla 3.11: Normativas y propuestas parte 1

Nº	Nombre de la normativa	Descripción de la propuesta y uso
16	Convención de UNESCO 1972 y recomendación 2007 sobre patrimonio mundial	Alineados con los lineamientos de la convención de la UNESCO y las recomendaciones subsiguientes, enfocamos nuestra intervención en la zona de protección circundante del CHC AE-II, que define la extensión de los espacios urbanos contiguos al área de especial interés AE-I. Proponemos realizar una rigurosa auditoría de todos los proyectos de infraestructura en el sector AE-II para asegurar que todas las intervenciones sean compatibles con los objetivos de conservación y gestión del patrimonio. Además, sugerimos evaluar la posibilidad de ampliar la zona AE-I para incluir áreas que, aunque contiguas, poseen un valor histórico y cultural significativo que merece una protección y consideración especial. Esta medida no solo reforzaría la protección del patrimonio, sino que también ayudaría a gestionar de manera más efectiva el impacto visual y estructural de las nuevas tecnologías en un entorno históricamente sensible.
17	Carta de venecia 1964	De acuerdo con los principios establecidos en la carta de Venecia de 1964, que enfatiza la importancia de un tratamiento cuidadoso en las excavaciones arqueológicas, proponemos integrar métodos y prácticas que aseguren la mínima intervención y el máximo respeto por el patrimonio cultural durante el despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones en áreas con relevancia histórica. Esta normativa es fundamental para dirigir las actividades de construcción y desarrollo en entornos sensibles, donde cualquier alteración del suelo podría tener implicaciones significativas en sitios arqueológicos. Sugerimos la implementación de tecnologías de evaluación no invasiva, como georradar para identificar y mapear sitios arqueológicos potenciales antes de cualquier excavación. Además, proponemos que todas las actividades de excavación sean supervisadas por especialistas en arqueología, garantizando que cualquier hallazgo sea adecuadamente documentado y preservado. Esta aproximación no solo cumple con los estándares internacionales de conservación patrimonial, sino que también promueve la responsabilidad en la expansión de infraestructuras modernas dentro de contextos históricos.
18	Normas de Quito 1967	El enfoque para el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones en el CHC se centra en una integración armoniosa y respetuosa. Estas normas delimitan un marco de protección diferenciado que identifica áreas con alta densidad de elementos monumentales o significativo valor ambiental como zonas de protección rigurosa, donde se exige un nivel máximo de conservación. Paralelamente, áreas de importancia cultural que permiten cierta flexibilidad operativa son designadas como zonas de protección o respeto, garantizando que cualquier intervención preserve su esencia fundamental. Además, se promueve una fusión visual y funcional entre el entorno construido y el natural en las zonas de protección del paisaje urbano, optimizando la cohesión del espacio urbano con el paisaje.
19	Carta de Washington 1987 para la conservación de ciudades históricas	Siguiendo la carta de Washington, proponemos métodos de instalación subterráneos para infraestructura de telecomunicaciones en el CHC, enfocados en minimizar impactos visuales y estructurales y facilitar la transición hacia una ciudad inteligente. Es esencial que el expediente técnico de cada proyecto incluya estudios de impacto realizados por expertos para asegurar un despliegue respetuoso y efectivo, con un diseño que sea tanto funcional como conservador del patrimonio.

3.4.3. Propuesta de estructura normativa

Dado el carácter legal de la propuesta es necesario definir los componentes basándonos en el código nacional de electricidad, el reglamento nacional de edificaciones, estándares y recomendaciones expuestos en secciones anteriores cuya finalidad es conseguir una coherencia formal y material tal y como sugiere el manual de técnica legislativa [101].

Sin embargo, es crucial también identificar las particularidades o temas que la normativa actual no contempla, tal como se describió en los problemas específicos del capítulo 1. Estos aspectos deberían ser objeto de modificaciones para lograr una mejor integración de las dos vertientes enfrentadas; el despliegue tecnológico y la preservación patrimonial, asegurando así un control más efectivo en el despliegue de la red óptica.

Por lo tanto la estructura normativa sería:

1. Objetivo principal planteado
2. Alcance de la propuesta
3. Funciones de la propuesta
4. Especificaciones técnicas
5. Características de los compromisos de los operadores
6. Modificación y adaptación de infraestructuras existentes para la continuidad de los servicios
7. Plan técnico

Abordaremos cada uno de ellos, presentando primero el esquema general:

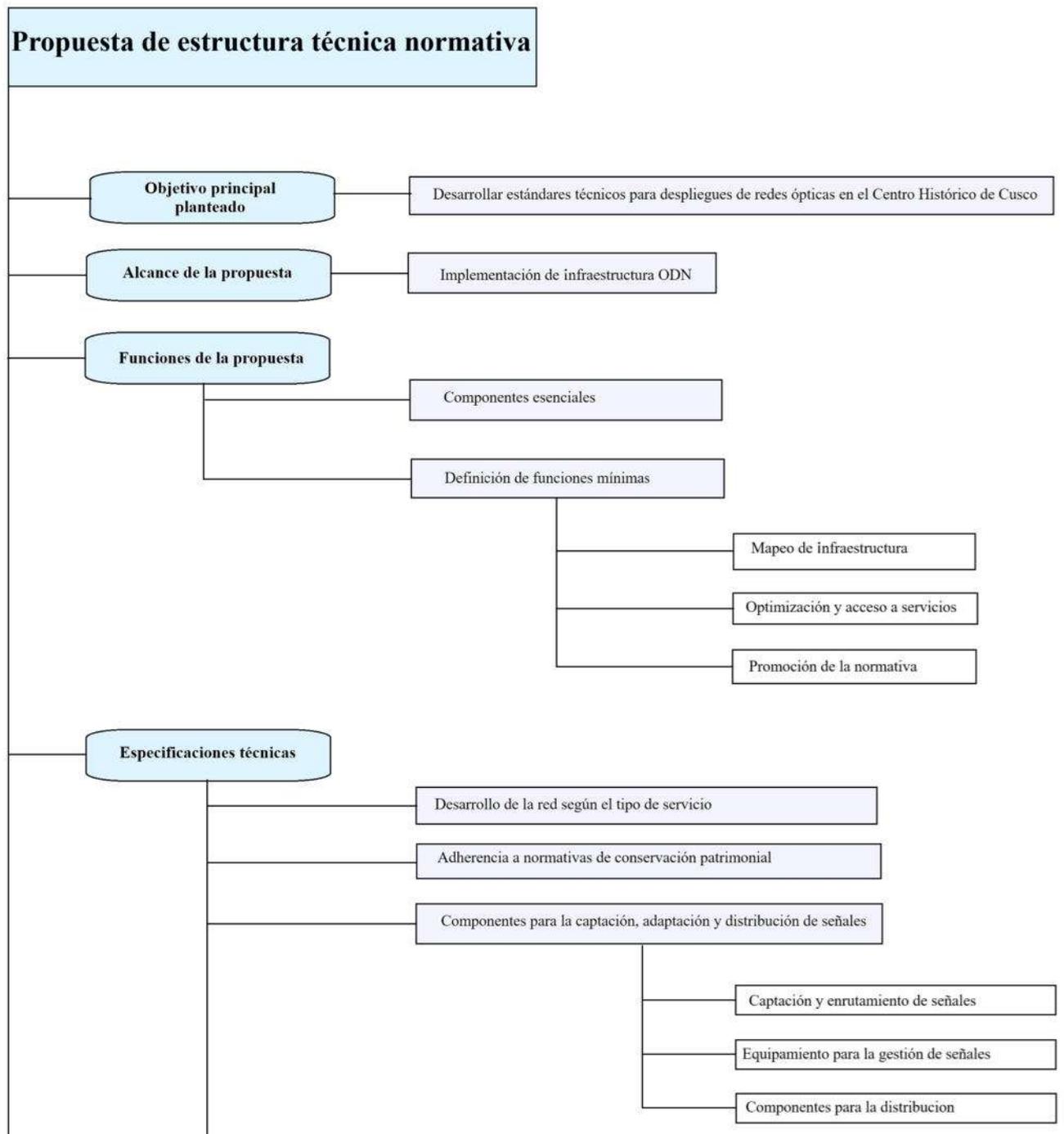


Figura 3.7: Esquema de la propuesta de estructura normativa parte 1

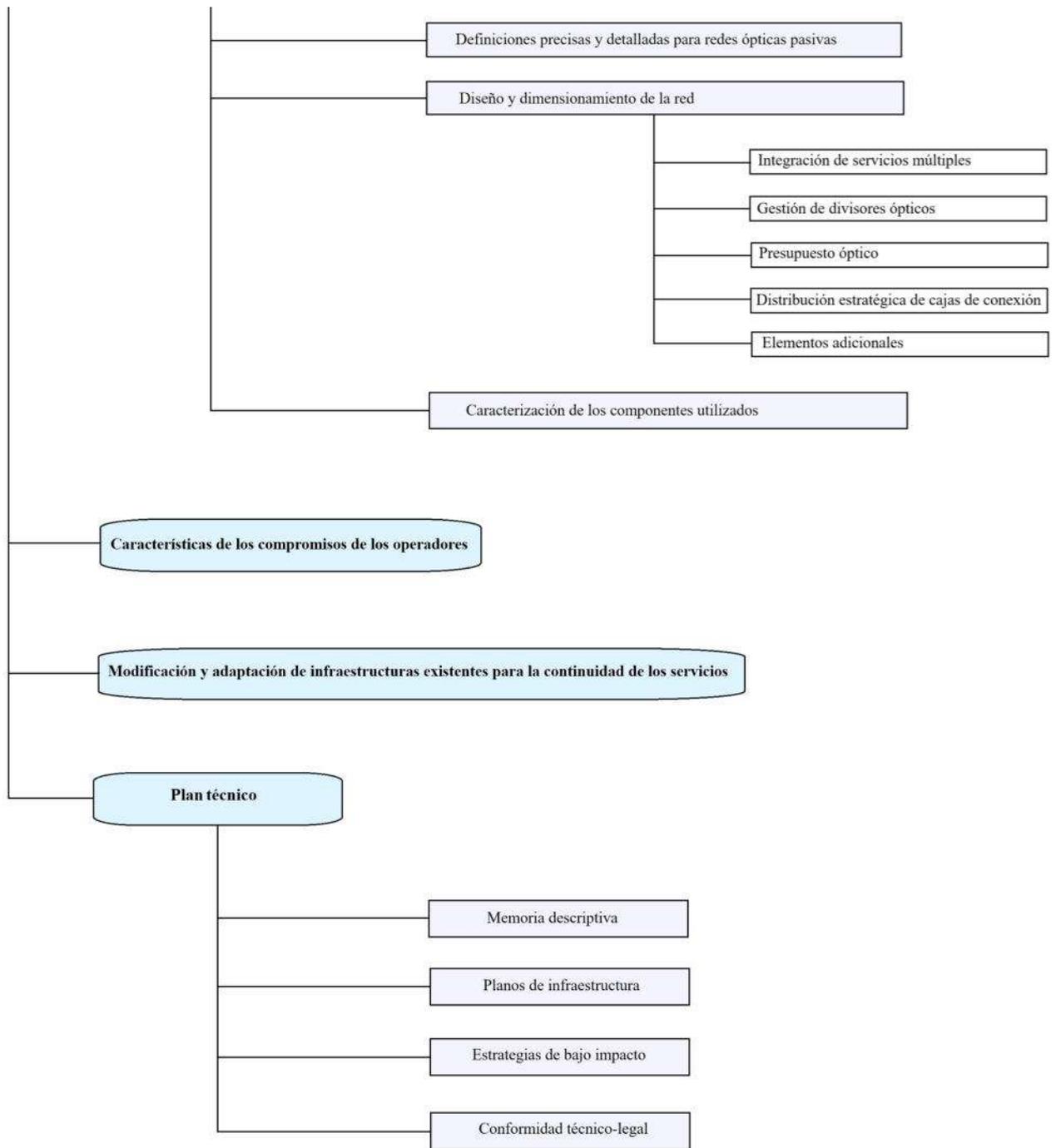


Figura 3.8: Esquema de la propuesta de estructura normativa parte 2

3.4.3.1. Objetivo principal planteado

Definimos el objetivo principal de formular una normativa técnica específica para las telecomunicaciones, centrada en la infraestructura alámbrica de telecomunicaciones necesaria para habilitar el acceso a servicios y facilitar la implementación de redes ópticas por diversos operadores en el **CHC**.

Tomando en cuenta el principio de baja repercusión de su despliegue efectivo; es crucial establecer los requisitos esenciales que se deben cumplir para garantizar el acceso efectivo a los servicios de telecomunicaciones y definir los estándares para la actividad profesional de los instaladores de infraestructuras de telecomunicaciones alámbricas en el contexto del **CHC**.

3.4.3.2. Alcance de la propuesta

Esta propuesta normativa está orientada específicamente a la implementación de infraestructura de telecomunicaciones alámbricas ópticas dentro de *optical distribution network* (ODN), enfocándose en el tendido de cables a través de calles, pasajes y avenidas, incluyendo la instalación de cajas terminales. El alcance de esta normativa se limita al espacio público y áreas comunes de acceso, sin regular la instalación dentro de viviendas privadas o edificaciones, donde el tipo de red podría diferir, como en los casos de fibra hasta el edificio.

Además, la normativa aborda cómo se debe integrar esta infraestructura en las edificaciones, ya sean nuevas o existentes, arrendadas o de propiedad privada, recomendando una aplicación uniforme de las directrices. Esto asegura que todas las instalaciones cumplan con un estándar coherente, siguiendo las mejores prácticas establecidas en el manual de técnica legislativa para la elaboración de leyes, facilitando así una implementación eficiente y respetuosa del entorno urbano y arquitectónico.

3.4.3.3. Funciones de la propuesta

Para establecer una base sólida para la normativa propuesta, es esencial definir claramente dos aspectos fundamentales.

a. Este segmento debe detallar los componentes esenciales de las infraestructuras de telecomunicaciones alámbricas, enfocándose en las redes ópticas. Se consolidarán los conceptos previamente definidos en el reglamento nacional de edificaciones bajo la norma EC.040, complementados con regulaciones tanto nacionales como internacionales. Este esfuerzo incluye la integración y mejora de conceptos técnicos de telecomunicaciones alineados con los requisitos regulatorios para la preservación de sitios monumentales, buscando armonizar estos dos cuerpos normativos en una sola directriz clara y eficaz. Además, se propone esclarecer los esquemas representativos de la infraestructura de telecomunicaciones alámbrica, complementando la información presentada en la primera sección de este proyecto.

b. Definición de funciones mínimas:

- Respaldo y mapeo de una infraestructura adecuada basándonos en las conclusiones de la primera sección de este capítulo, que subraya la necesidad de un despliegue de bajo impacto, es crucial adaptar y distribuir las señales ópticas hasta los puntos de conexión, garantizando una adecuada distribución a través de cableado hasta estos puntos. Esta implementación debe estar claramente documentada en un mapa catastral que detalle la ubicación de los componentes esenciales en un despliegue de red óptica pasiva.
- Optimización y acceso a los servicios, la normativa debe facilitar el acceso a servicios públicos como la radiodifusión por cable y la telefonía, así como a servicios de carácter privado como el CCTV. Estos servicios deben contar con la infraestructura necesaria para su adecuado funcionamiento, corrigiendo las deficiencias observadas en los actuales sistemas de implementación.
- Promoción de la normativa y optimización de los servicios portadores asegurando el acceso a estas prestaciones ofrecidas por operadores de servicios y otras entidades, promoviendo una interconexión efectiva para el acceso a redes públicas. Esta infraestructura debe estar regulada por una ordenanza efectiva que obligue a todos los operadores a utilizar la infraestructura regulada por la entidad correspondiente, garantizando así el cumplimiento de todas las normativas pertinentes y el respeto por el patrimonio cultural del CHC.

3.4.3.4. Especificaciones técnicas

Considerando que la mayoría de la infraestructura de cableado existente está asociada a los servicios portadores ofrecidos por diversas empresas de telecomunicaciones, es crucial que cualquier normativa se enfoque en la regulación adecuada de estos elementos. No obstante, es vital que la normativa peruana incluya una descripción técnica detallada que se adapte específicamente al tipo de servicio de telecomunicaciones desplegado, especialmente cuando estos servicios difieren en naturaleza y son de carácter público. Esto implica que la normativa debe abarcar los aspectos siguientes:

- a. El desarrollo de la red, en función del tipo de servicio proporcionado, debe detallar las especificaciones técnicas necesarias para una implementación efectiva.
- b. La red debe adherirse a las normativas de conservación patrimonial respetando los planos de intervención prioritaria.
- c. Es fundamental incorporar en la normativa los componentes clave implicados en la captación, adaptación y distribución de señales. Estos componentes deben estar bien definidos; en el presente trabajo de tesis se considera un marco conceptual de ellos en el capítulo 2.

Este documento define los elementos involucrados de redes ópticas, los cuales deben poseer carácter legal. Se propone dedicar una sección específica a estos términos dentro del marco de la terminología formal como elementos involucrados y componentes de la red óptica. Los elementos involucrados en el proceso de distribución de servicios de telecomunicaciones se organizan de la siguiente manera:

- Conjunto de dispositivos para la captación y enrutamiento de señales: Estos dispositivos son esenciales para iniciar el proceso de transmisión, capturando señales de diversas fuentes y preparándolas para su posterior procesamiento y distribución.
- Equipamiento necesario para la gestión de señales: Incluye los sistemas necesarios para el control, administración y conversión de señales ópticas, asegurando que

sean compatibles y estables para su transmisión a través de la infraestructura de fibra óptica.

- Red de distribución: Éste es el eslabón crítico que asegura la entrega fiable y eficaz del servicio desde el equipo central hasta el punto final de conexión del usuario, ya sea mediante cajas terminales o puntos de acceso directo en las viviendas o locales comerciales. La integridad de esta red es vital para mantener la calidad y fiabilidad del servicio, abarcando desde la infraestructura de transmisión principal hasta los componentes pasivos como *splitters* ópticos y amplificadores, los cuales deben estar diseñados para minimizar las pérdidas y maximizar la eficiencia en el manejo de las señales.
- d. Es esencial que la normativa propuesta para redes ópticas pasivas en el Perú incluya definiciones precisas y detalladas que reflejen claramente los componentes de la red. Actualmente, el marco regulatorio existente proporciona algunas definiciones, pero estas carecen de claridad y no abarcan todos los elementos necesarios. Por ello, se propone la incorporación de definiciones exhaustivas y esquemáticas de los componentes de una red óptica pasiva, como son las plantas interna, externa, aérea y subterránea. Estos esquemas deberán ser ilustrativos y detallados, superando las limitaciones de los gráficos actuales, con el objetivo de facilitar una mejor comprensión y aplicación de la normativa en el contexto peruano. Esta mejora en la documentación es crucial para asegurar una implementación efectiva y coherente de las redes ópticas en el país.

e. El diseño de la infraestructura de telecomunicaciones y el dimensionamiento de la red son cruciales para garantizar la implementación efectiva de redes ópticas en áreas públicas, principalmente como parte de proyectos técnicos a largo plazo. Este proceso implica la planificación meticulosa de la cantidad de cables y fibras necesarios para satisfacer futuras demandas, conforme a las perspectivas delineadas en secciones anteriores de este trabajo [64].

La normativa peruana EM.020 orienta sobre cómo deben ser las instalaciones de comunicaciones, aunque carece de detalles técnicos específicos sobre los parámetros críticos para la implementación efectiva. Por tanto, se propone una especificación más detallada que incluya:

- Dispositivos para la integración de servicios múltiples mediante multiplexación
- Uso de divisores ópticos para asegurar cobertura y conectividad
- Presupuesto óptico y análisis de atenuaciones
- Definición estratégica de cajas de conexión en ubicaciones planificadas
- Elementos adicionales según los requisitos del diseño

Estas especificaciones se basarán en normativas internacionales y adaptadas a las características estructurales específicas de las construcciones en el CHC. Este enfoque pretende evitar la discrecionalidad en las decisiones de diseño por parte de los ingenieros del proyecto, asegurando que todas las instalaciones respeten tanto las normativas de telecomunicaciones como la preservación rigurosa del patrimonio monumental.

f. Las características técnicas de los componentes utilizados deben estar especificados y detallados. Esta especificación debe ser acorde al tipo de servicio de telecomunicaciones proporcionado y debe considerar aspectos esenciales para garantizar un servicio eficiente y confiable.

A continuación, se detallan los requisitos técnicos críticos para su implementación:

- Características del cable: Debe adecuarse a las necesidades específicas del servicio, con atención particular en la integridad y calidad de la señal. Es esencial que el cable posea propiedades que minimicen la pérdida de señal y resistencia a condiciones ambientales adversas.
- Número de hilos: Este parámetro define la capacidad de transmisión del cable. Debe seleccionarse en función del volumen de datos a transmitir y la redundancia deseada en el sistema.
- Modo de propagación: Identifica cómo las ondas de luz se distribuyen a través de la fibra. Puede ser monomodo o multimodo, dependiendo de la distancia de transmisión y la velocidad de datos requerida.
- Parámetros estructurales de la fibra óptica: Incluyen el diámetro del núcleo y del revestimiento, así como el índice de refracción, que son determinantes para las propiedades de transmisión y la flexibilidad de instalación.
- Dispersión por curvatura: Se refiere a las pérdidas de señal ocasionadas por curvas o dobleces en la fibra. Es vital diseñar la red para minimizar estos efectos, especialmente en entornos urbanos complejos.
- Temperatura máxima de operación: Los cables deben ser capaces de soportar las máximas temperaturas previstas sin degradación en el rendimiento o en su integridad física.
- Características generales de los cables: Deben cumplir con los estándares de calidad para asegurar la transmisión eficaz de la señal y la durabilidad en el tiempo, evitando el deterioro por factores ambientales o mecánicos.

La normativa debería detallar meticulosamente los elementos involucrados en las redes ópticas, los componentes específicos de la redes ópticas, las especificaciones técnicas detalladas y los requisitos técnicos.

3.4.3.5. Características de los compromisos de los operadores

Es esencial que la ley o normativa incorpore disposiciones que obliguen a los operadores y empresas de redes y servicios de telecomunicaciones a adherirse a los criterios y recomendaciones establecidos. Esto tiene como objetivo principal asegurar no solo la calidad del servicio, sino también el adecuado mantenimiento de la infraestructura a lo largo del periodo contractual con el usuario. Adicionalmente, se debe definir claramente la responsabilidad conjunta de la municipalidad y los operadores en el mantenimiento de la infraestructura de telecomunicaciones, desde el armario de distribución hasta el punto de acceso de los usuarios. Es crucial que ambos entes tomen medidas preventivas eficaces para evitar el mal manejo de la infraestructura y el acceso de personas no autorizadas, garantizando en todo momento el respeto por el patrimonio cultural y arquitectónico del área.

3.4.3.6. Modificación y adaptación de infraestructuras existentes para la continuidad de los servicios

La normativa propuesta debe establecer directrices claras con carácter imperativo, similares a las disposiciones complementarias que dictan la retirada de infraestructuras obsoletas, como es el caso de ciertos tipos de cableados de la ordenanza municipal N° 033-2011 - MPC y la ley N° 31595, que dicta la eliminación del cableado aéreo obsoleto o deteriorado en las áreas urbanas de la nación. Dado que los usuarios frecuentemente pueden cambiar de operador debido a la dinámica del mercado y las fluctuaciones de la oferta y demanda, es común que los cables queden en desuso conforme pasa el tiempo; tal como se ha analizado anteriormente y se expone en la problemática. La normativa para el despliegue debería contemplar la implementación de una infraestructura perdurable en el contexto de un despliegue de bajo impacto que adapte y optimice el uso de las instalaciones existentes sobre todo en su red de dispersión, asegurando así la continuidad del servicio sin importar los cambios de proveedor por parte de los usuarios. Esta medida aseguraría tanto la sostenibilidad de la infraestructura como la preservación del entorno urbano[66] y [37].

Esta acción como la preservación del entorno urbano y patrimonial.

3.4.3.7. Plan técnico

El proyecto técnico, según las normas peruanas, debe incluir la memoria descriptiva y los planos de la infraestructura de telecomunicaciones. Se sugiere ampliar este marco para incluir especificaciones detalladas sobre la calidad de los materiales y equipos utilizados, así como las condiciones de su instalación, enfocándose en un despliegue de bajo impacto [64].

Además de definir el contenido del proyecto técnico, es crucial detallar el proceso de aprobación de estos documentos y establecer procedimientos claros para las inspecciones post-instalación. Por tanto, se recomienda incorporar directrices que garanticen la eficiencia y el mínimo impacto durante la implementación del proyecto, tales como:

- La implementación del proyecto debe ejecutarse en el menor tiempo posible, minimizando la interrupción del flujo vehicular y peatonal.
- Es fundamental coordinar con los propietarios de viviendas y edificios afectados, junto con las empresas instaladoras, para asegurar que la vida cotidiana de los residentes no se vea perturbada significativamente por las obras.
- Al concluir la instalación, se debe presentar a la municipalidad y al ministerio de cultura documentación verificada por la empresa instaladora y certificados emitidos por el ingeniero a cargo, que confirmen la correcta ejecución del proyecto conforme a las normativas técnicas y de conservación patrimonial.
- Las empresas responsables del despliegue deben obtener un certificado de cumplimiento de las entidades regulatorias, que valide la observancia de las normativas aplicables y la protección del patrimonio cultural involucrado.

3.4.4. Lineamientos esenciales

Al sintetizar para capturar la esencia fundamental de esta propuesta normativa, destacamos los siguientes puntos clave:

- La normativa peruana debe alinearse con los estándares nacionales e internacionales tanto en telecomunicaciones como en preservación patrimonial, asegurando una integración efectiva de ambos campos.
- Las propuestas de diseño de despliegue de redes ópticas deben fundamentarse en estrategias de despliegue de bajo impacto, respaldados por estudios comparativos que identifiquen el método menos perjudicial tanto ambiental como visualmente, sin comprometer su capacidad tecnológica.
- Los despliegues de red óptica deben soportar el desarrollo y la innovación tecnológica a largo plazo, en consonancia con la visión de evolución hacia ciudades inteligentes.

Capítulo 4

Estudio comparativo de métodos de despliegue de redes ópticas

4.1. Fundamentos del estudio

Este capítulo se enfoca en realizar un análisis comparativo para identificar el método de despliegue de redes ópticas más adecuado y de menor impacto. Basándose en los principios establecidos en el capítulo 3, la propuesta debe fundamentarse en estrategias de despliegue que minimicen el impacto ambiental y visual, manteniendo al mismo tiempo la capacidad tecnológica necesaria para soportar el desarrollo y la innovación a largo plazo. Esto es crucial para alinear el despliegue de la red óptica con los objetivos de transformación hacia infraestructuras más avanzadas y conectadas.

También proporciona una base técnica sólida que apoye una propuesta de diseño ajustada al contexto de zonas monumentales, dentro de un marco regulatorio adecuado. Esta investigación nos permitirá tomar decisiones informadas sobre la elección del método de tendido que sea compatible con las necesidades específicas y las restricciones del entorno monumental.

Este enfoque no solo responde a necesidades técnicas sino que también considera el impacto cultural y estético, asegurando que las soluciones adoptadas respeten y preserven el patrimonio sin sacrificar la funcionalidad y la innovación tecnológica.

4.2. Metodología de comparación

En esta sección, procederemos a definir los criterios que serán objeto de comparación.

Antes de ello, resulta esencial refinar y delimitar todas las opciones disponibles con el propósito de retener exclusivamente las alternativas y métodos de despliegue que sean viables.

Al explorar soluciones de conectividad que respeten el patrimonio en el **CHC**, consideramos diversas tecnologías de transmisión de datos. Mientras que la fibra óptica se ha establecido como el medio principal en nuestra investigación, en este segmento también se incluye una breve comparación con **FSO** para contextualizar su uso y limitaciones en escenarios similares.

Tabla 4.1: Comparativa fibra óptica vs FSO

	Fibra óptica	Óptica de espacio libre
Medio de transmisión	Cable de fibra de vidrio o plástico.	Transmisión a través del aire libre.
Capacidad de transferencia de datos	Las velocidades de transmisión en redes ópticas pasivas varían ampliamente, desde 100 Mbps hasta 1 Tbps, dependiendo de la tecnología. Por ejemplo, las redes basadas en el estándar ITU-T G.984 alcanzan hasta 1.24 Gbps en upstream y 2.488 Gbps en downstream, mientras que las redes basadas en ITU-T G.9807 pueden alcanzar hasta 10 Gbps.	En condiciones atmosféricas óptimas, las velocidades de transmisión de los sistemas FSO suelen oscilar en torno a los 2.5 Gbps, con la capacidad de alcanzar hasta 5 Gbps o incluso 10 Gbps en configuraciones específicas. Sin embargo, es importante destacar que 2.5 Gbps representa una velocidad típica y significativa en aplicaciones prácticas.
Rango de cobertura de señal	En redes ópticas pasivas, el alcance típico es de hasta 20 kilómetros. Sin embargo, utilizando repetidores ópticos, la transmisión puede extenderse hasta 100 kilómetros o más. En sistemas de larga distancia, como los cables submarinos, la fibra óptica puede cruzar océanos, alcanzando distancias de miles de kilómetros.	El alcance de transmisión de FSO varía considerablemente según las condiciones atmosféricas. Bajo condiciones óptimas, el alcance puede extenderse entre 2 y 3 kilómetros, con la posibilidad de alcanzar hasta 5 kilómetros. Sin embargo, en escenarios de alta atenuación, como en presencia de niebla densa o lluvia intensa, la distancia efectiva puede reducirse a un kilómetro o menos.
Pérdida de señal por distancia	La pérdida de señal en la fibra óptica monomodo oscila entre 0.20 y 0.35 dB/km, dependiendo de la longitud de onda utilizada. Por ejemplo, a una longitud de onda de 1550 nm, la pérdida típica es de 0.20 dB/km, mientras que, a 1.310 nm, la pérdida puede ser de aproximadamente 0.35 dB/km.	En condiciones favorables, la atenuación puede ser de alrededor de 3 dB/km, mientras que en condiciones adversas, como niebla densa o lluvia intensa, la atenuación puede incrementarse hasta 30 dB/km o más.
Requisito de línea de vista	No requiere una línea de visión directa, dado que la luz se transmite a través de un cable físico.	Requiere estrictamente una línea de visión directa entre el emisor y el receptor.
Susceptibilidad a interferencias geográficas	Baja, no se ve afectada por condiciones atmosféricas.	Alta, altamente susceptible a condiciones climáticas como niebla, lluvia y nieve, lo que limita su compatibilidad con climas como el de Cusco.
Seguridad	Alta, aunque las señales podrían ser interceptadas si se tiene acceso físico al cable.	Ofrece un alto grado de seguridad, siendo extremadamente difícil interceptar la señal sin ocasionar una interrupción perceptible.
Requisitos de implementación	Requiere la instalación física de cables.	Implementación rápida sin necesidad de instalación de cables.
Requisitos de mantenimiento	Requiere mantenimiento regular del cableado y de los equipos de conexión.	Exige monitoreo constante debido a su susceptibilidad a las condiciones climáticas, así como aseguramiento continuo de la línea de visión.
Equipamiento necesario	La implementación requiere una variedad de equipos especializados, incluyendo cables de fibra óptica, conectores, fusionadoras, y equipos de medición óptica. Adicionalmente, para redes ópticas pasivas, es necesario el uso de splitters ópticos.	Utiliza transmisores y receptores ópticos que dependen de una línea de visión directa, complementados con sistemas de alineación y estabilización del haz. Aunque la instalación es generalmente menos compleja que en sistemas de fibra óptica, requiere equipamiento especializado para asegurar una alineación precisa y mantener la estabilidad de la transmisión bajo condiciones atmosféricas variables.
Costo	Elevado inicialmente, debido a la necesidad de infraestructura de red y obras civiles. Aunque representa una inversión considerable al principio, ofrece beneficios a largo plazo como baja necesidad de mantenimiento y alta escalabilidad, lo que puede resultar en un costo total más bajo sobre su vida útil.	Menor en situaciones donde la infraestructura física es inviable o prohibitivamente costosa. Sin embargo, aunque la instalación inicial es menos costosa, la susceptibilidad a condiciones atmosféricas adversas y la necesidad de múltiples retransmisiones pueden incrementar los costos operativos y de mantenimiento, sobre todo en el despliegue de una red.
Impacto visual y estructural	Su instalación puede ser invasiva, especialmente en zonas patrimoniales, requiriendo estudios detallados para minimizar efectos negativos. Aunque a menudo implica obras civiles, técnicas optimizadas permiten reducir el impacto.	Instalación mínimamente invasiva y de bajo impacto, ideal para áreas protegidas. La desinstalación es simple y limpia.
Aplicación en el contexto	Adecuada para enlaces de larga distancia, redes troncales, y despliegues FTTx.	Ideal para enlaces de corta distancia, enlaces temporales, redes de respaldo, y conexiones entre edificios.

El cuadro comparativo muestra que, aunque FSO podría adaptarse a algunos contextos patrimoniales, su implementación enfrenta desafíos significativos en el CHC debido a la configuración geográfica y urbana de la zona.

La fibra óptica se destaca como la tecnología más adecuada y predominante frente a otras tecnologías, como se observa en la figura 4.1, donde se ilustra la evolución de las conexiones de fibra óptica.

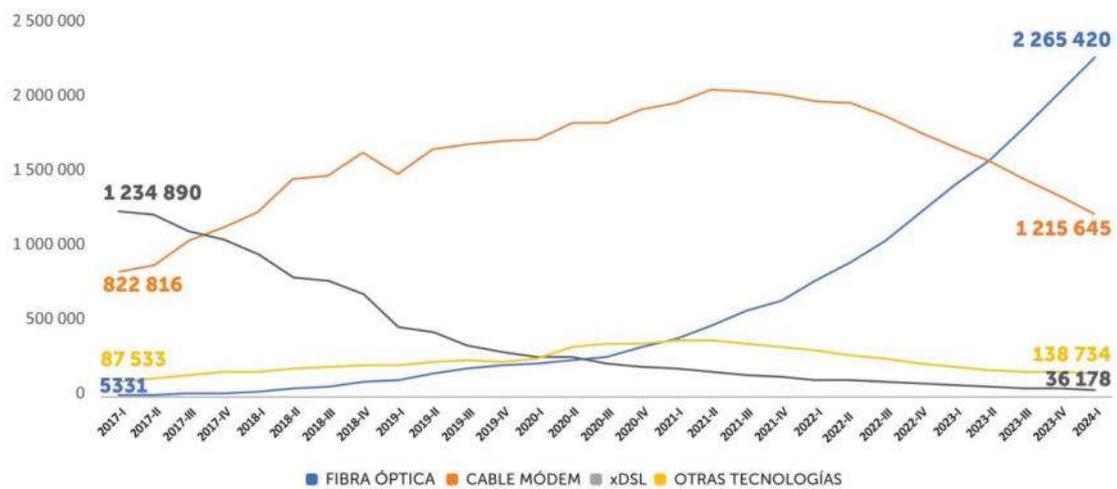


Figura 4.1: Distribución de conexiones fijas por tecnología [16]

Este análisis complementa nuestro estudio, reafirmando la dirección ya establecida en nuestra investigación. Procederemos a evaluar los métodos de despliegue más efectivos para redes ópticas que respeten tanto la infraestructura como el patrimonio cultural del CHC.

En el contexto de las restricciones reglamentarias y la preservación patrimonial, la metodología de comparación se centra en el tendido subterráneo como la única opción viable para el despliegue de redes ópticas en el CHC.

A través del análisis realizado, se determina que los tendidos aéreo y en fachadas son inadecuados debido a su impacto visual negativo y las prohibiciones explícitas establecidas en normativas locales como la ordenanza municipal N° 033-2011 - MPC, y el reglamento del plan maestro del CHC, que regula estrictamente el uso del espacio aéreo y de fachadas para minimizar el impacto en zonas de alta relevancia patrimonial [66] y [60].

Dado el enfoque de despliegue de bajo impacto, la elección se ha limitado a los métodos subterráneos identificando tres principales según los estándares de la ITU-T en su serie L; las recomendaciones ITU-T L.153, ITU-T L.154, ITU-T y L.155.

Estas recomendaciones proporcionan un marco para comparar las técnicas de implementación subterránea basándose en criterios específicos para que de esta forma se pueda asegurar la coherencia con el perfil normativo y las exigencias de bajo impacto en el CHC.

La razón de su elección se debe a que estas redes microcanalizadas están diseñadas para minimizar el impacto sobre la infraestructura urbana y presentan ventajas considerables frente a las canalizaciones convencionales.

Por otro lado; las canalizaciones tradicionales, a menudo, requieren extensos estudios previos para evitar dañar servicios existentes y suelen implicar cierres de vías que provocan congestión y malestar entre los peatones. Además, generan significativos volúmenes de escombros, requiriendo una gestión logística específica para su disposición y, posteriormente, obras de restauración de mayor envergadura, complicando así la obtención de permisos municipales.



Figura 4.2: Canalización tradicional [17]



Figura 4.3: Microcanalizado [18]

En contraste, las redes microcanalizadas se implementan a baja profundidad con técnicas de corte que reducen al mínimo la interrupción del tráfico. Las máquinas utilizadas permiten limitar los cierres a pequeñas secciones de la vía, disminuyendo la congestión y las molestias a peatones y residentes. La generación de escombros se minimiza drásticamente, siendo mayoritariamente polvo que puede controlarse eficazmente mediante corte húmedo, evitando incomodidades por dispersión en el aire. Además, la restauración del pavimento es rápida, sencilla y económica, lo que facilita la gestión de permisos para obras, ofreciendo una solución eficiente y amigable con el contexto urbano.

En la siguiente tabla 4.2, se presenta una comparativa basados en estudios que sintetizan varios años de despliegue tanto en Estados Unidos como en Europa realizada por el fabricante Duraline. En esta se puede apreciar el contraste de las canalizaciones tradicionales con las microcanalizaciones. Destacando que el tiempo de construcción en las microcanalizaciones puede ser hasta cinco veces más rápido y el costo hasta un tercio más económico comparado con las técnicas convencionales [102].

Tabla 4.2: Cuadro comparativo canalización tradicional vs. microcanalización

	Canalización tradicional	Microcanalizado
Dimensiones	Tienen un ancho que varía de 30 cm a 60 cm. y una profundidad que oscila entre 90 cm y 150 cm.	Presenta un ancho que fluctúa de 1 cm a 15 cm y una profundidad que va de 7 cm a 40 cm.
Tiempo	El tiempo de ejecución del proyecto, desde la planificación, es de aproximadamente 160 días o más, incluyendo más de 30 días para el proceso constructivo.	La duración del proyecto, contando desde la fase de planificación, oscila entre 50 y 55 días, con un periodo constructivo que puede extenderse hasta 24 horas.
Costos	Necesitan más gastos de relleno, instalaciones más demoradas y costos de restauración más elevados. Pueden llegar a ser hasta tres veces más costoso que un proyecto de microcanalización.	Implican costos de relleno más bajos, instalaciones más ágiles y costos de restauración reducida. Generalmente, tienen un costo equivalente a un tercio de un proyecto con canalizaciones convencionales.
Mano de obra	Es necesario contar con más personal para gestionar un área de trabajo más extensa, se requiere mayor número de personas para manejar el tráfico y se utilizan carretes más grandes que son más complicados de manejar.	Se requiere menos personal para administrar un área de trabajo reducido, menos personas para dirigir el tráfico y se usan carretes más pequeños que son más sencillos de manejar.
Estudios preliminares	Necesita un análisis detallado de los servicios previamente instalados.	Instalaciones superficiales.
Topografía y permisos	En relación con la topografía y los permisos, generalmente toman el doble de tiempo en comparación con un proyecto de microcanalización. Usualmente necesita una cantidad considerable de permisos.	En lo que respecta a la topografía y los permisos, normalmente necesita la mitad del tiempo en comparación con una canalización convencional. Dado que no requieren cierres de vías y su instalación es rápida, pueden ser más viables para la obtención de permisos.
Interrupción del flujo vehicular y peatonal	Provoca cierres de vías, lo que resulta en congestiones y molestias para los peatones.	Ocasiona un cierre mínimo de vías, permitiendo el tránsito vehicular y peatonal sin restricciones, aspecto crucial en el CHC.
Generación de escombros	Produce una gran cantidad de escombros debido a la excavación de los suelos.	Produce una cantidad mínima de escombros.
Restauración	La restauración presenta dificultades, considerando que se trata de una obra civil de gran envergadura.	La restauración es fácil y rápida. y económica, gracias a los cortes superficiales y las pequeñas profundidades.

Gracias a estos fundamentos, el presente análisis incorpora los tres enfoques respaldados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones mencionadas anteriormente (ITU-T L.153, ITU-T L.154, ITU-T L.155).

La evaluación de estos métodos subterráneos se fundamentará en un conjunto de criterios técnicos y regulatorios, incluyendo dimensionamiento, requisitos preliminares, proceso constructivo, tendido sugerido, mantenimiento y alineación con las directrices de protección patrimonial.

A continuación, se detallan los criterios para el análisis comparativo de las tres recomendaciones seleccionadas, con el fin de determinar cuál de ellas se ajusta mejor a las necesidades específicas del proyecto y cumple de manera óptima con los estándares regulatorios:

- Profundidad y sección transversal: Evaluación de la profundidad óptima y la sección transversal de las zanjas, asegurando que cumplan con los requisitos de seguridad y eficiencia estructural.
- Requisitos preliminares: Análisis de los requisitos iniciales necesarios antes de iniciar cualquier procedimiento de excavación, incluyendo estudios de geolocalización y evaluación de infraestructuras existentes.
- Proceso constructivo: Descripción detallada del método constructivo, enfocándose en las técnicas de excavación y colocación de cables, y cómo estas se adaptan a los entornos urbanos congestionados o áreas de relevancia histórica.
- Tendido de la infraestructura: Examen de las técnicas recomendadas para el despliegue eficaz de la infraestructura de fibra óptica, teniendo en cuenta la minimización del impacto visual y estructural.
- Mantenimiento: Propuestas de estrategias de mantenimiento que garanticen la longevidad y fiabilidad de la infraestructura, ajustándose a las normativas vigentes y facilitando futuras expansiones o modificaciones.

A partir de la elección del método normativo más apropiado para el contexto de estudio se identificara diversos criterios compatibles con el método elegido; como el tipo de fibra óptica, el tipo de ductería, etc. Estos criterios permitirán determinar el método más adecuado que no solo respeta el patrimonio histórico y cultural del entorno, sino que también se alinea con los requisitos técnicos necesarios para su implementación efectiva.

a. Fibra óptica: La elección de la fibra óptica se realizará según criterios técnicos exhaustivos para asegurar la máxima eficiencia y adaptabilidad del sistema. Estos criterios incluyen:

- Tamaño de la fibra: Seleccionar el diámetro adecuado que garantice la eficiencia en la transmisión y facilidad en la instalación.
- Radio de curvatura mínimo del cable: Escoger cables que soporten curvaturas ajustadas sin afectar la integridad o la eficiencia de la transmisión de datos.
- Carga límite de tracción, torsión, compresión o aplastamiento de los cables: Asegurar que los cables puedan soportar las fuerzas físicas a las que estarán expuestos durante y después de la instalación, para evitar daños y garantizar durabilidad.
- Márgenes y parámetros de longitud de vano estandarizados por el *span* de cada cable: Establecer los límites de longitud entre puntos de apoyo, optimizando el tendido del cable y reduciendo la necesidad de infraestructura adicional.
- Relación condición de terreno y tolerancia mínima del cable: Adaptar la elección del cable a las características específicas del terreno, seleccionando aquellos que ofrezcan la mejor resistencia y adaptabilidad en diversos tipos de suelos y condiciones ambientales

b. Ducto: La elección y diseño de los ductos es crucial para asegurar la protección de la fibra óptica. Los ductos deben ser resistentes a condiciones ambientales adversas y adecuados para el tipo de suelo donde serán instalados. La selección considerará:

- Material: Utilizar materiales que proporcionen una protección duradera contra la humedad, químicos y otros factores corrosivos.

- Diseño: Adoptar un diseño que facilite la instalación y el mantenimiento, y que permita futuras expansiones o modificaciones con mínimo impacto.
- c. Configuración: Determinar la configuración de la red es fundamental para maximizar su eficiencia y escalabilidad. Esto incluye:
- Disposición de ductos y fibras: Configurar los ductos y las fibras de manera que se optimice el espacio y se facilite la expansión futura. Esto puede involucrar esquemas con planificación de espacios vacíos para futuras necesidades.
 - Consideraciones de diseño: Establecer una estructura que permita la incorporación de nuevas tecnologías.
- d. Cámaras subterráneas: La elección de cámaras subterráneas destinadas a la infraestructura de fibra óptica debe fundamentarse en aspectos clave que garanticen su robustez, facilidad de instalación y compatibilidad con el entorno. Los factores principales a tener en cuenta son:
- Dimensiones y capacidad: Es importante seleccionar cámaras con un tamaño adecuado que permitan albergar todos los componentes de la red óptica, además de dejar espacio disponible para futuras ampliaciones.
 - Materiales y composición: Optar por cámaras fabricadas con materiales que sean resistentes a la corrosión, a la presión del terreno y a las condiciones climáticas.
 - Proceso de instalación: Se deben preferir cámaras que ofrezcan una instalación rápida y con un impacto mínimo en el entorno, además de facilitar el acceso para tareas de mantenimiento. También es esencial que cumplan con las normativas locales, especialmente en zonas patrimoniales.
 - Compatibilidad con ductos y cables de fibra: Asegurarse de que las cámaras elegidas permitan una integración eficiente con los ductos y las fibras ópticas.
 - Resistencia a cargas y tráfico: Evaluar la capacidad de las cámaras para soportar el peso de vehículos o peatones, dependiendo del lugar de instalación.

4.3. Análisis comparativo

4.3.1. Profundidad y sección transversal

En el contexto de diseñar una red óptica subterránea que respete la integridad del patrimonio en el CHC, es crucial considerar la profundidad a la que se podrían encontrar vestigios históricos. La siguiente figura ilustra los resultados obtenidos del estudio "*Towards urban archaeo geophysics in Peru the case study of Plaza de Armas in Cusco*", liderado por Nicola Masini y Giovanni Leucci, utilizando tecnología de georadar en la plaza de armas, el corazón del CHC. Estos datos son fundamentales para nuestro proyecto, ya que proporcionan una referencia clara sobre las profundidades seguras para el tendido de redes sin interferir con elementos patrimoniales [19].

Aunque la investigación referenciada no especifica su relación con las recomendaciones ITU-T, los resultados que hemos analizado coinciden con los rangos de frecuencia que las normas ITU-T L.260 y ITU-T L.257 recomiendan para despliegues subterráneos. Las reflexiones capturadas por el radar exhiben notables diferencias, que pueden ser explicadas por la presencia de elementos arqueológicos y estructuras modernas. Se utilizan marcadores rojos para destacar áreas donde es probable la existencia de vestigios arqueológicos identificados con W y la presencia de infraestructuras como tuberías indicadas con P. Una anomalía destacada de gran amplitud, señalada como M, indica un hueco en la superficie, revelando así la variada naturaleza del subsuelo en esa área.

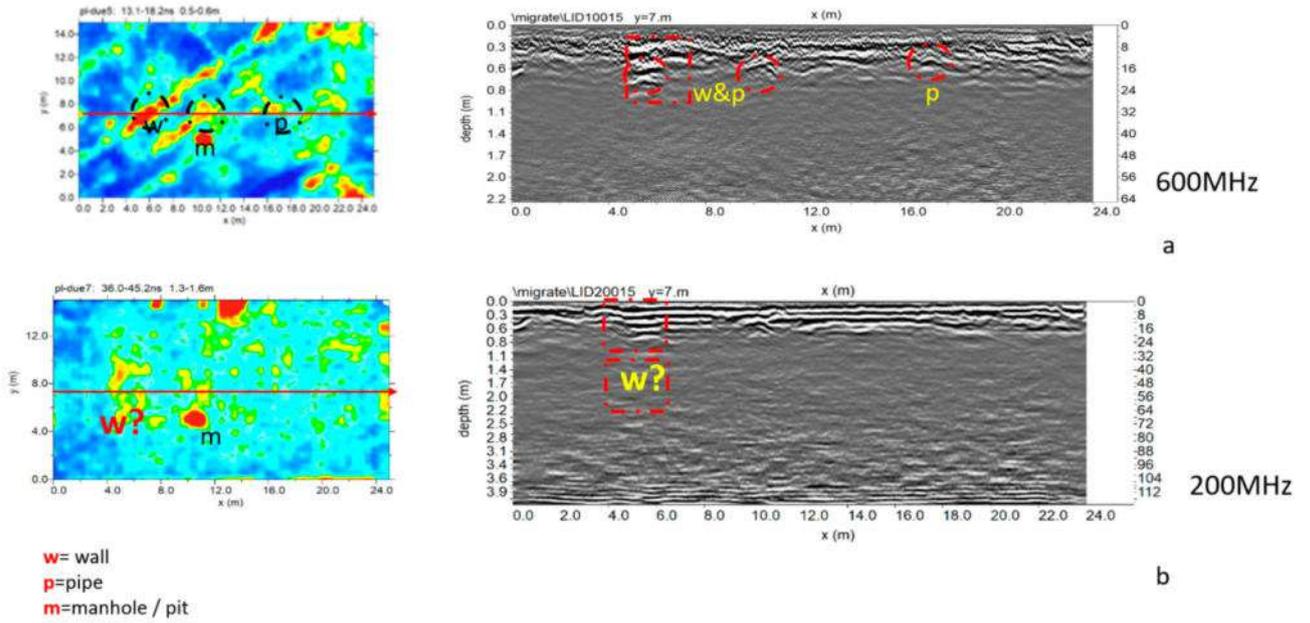


Figura 4.4: Plaza de armas análisis de georadar: (a) radar con antena de 600 MHz profundidad de 0.5 a 0.6m; (b) radar con antena de 200 MHz profundidad de 1.3 a 1.6m [19]

Estos hallazgos subrayan la importancia de utilizar métodos de despliegues efectivos y congruentes para garantizar que la planificación e implementación de infraestructura subterránea no solo sea eficiente sino también respetuosa con el valioso patrimonio cultural del Cusco. Las recomendaciones de la ITU-T a comparar describen varias técnicas de instalación subterránea para redes de fibra óptica, cada una adaptada a diferentes necesidades y impactos ambientales. La ITU-T L.153 detalla un método de minizanjias que implica una excavación de hasta 40 cm de profundidad y 15 cm de ancho. Por otro lado, la ITU-T L.154 debido a que no sugiera la instalación de ductos, promueve el uso de microzanjas más superficiales, con profundidades de aproximadamente 7 cm y una sección transversal de solo 15 mm. En contraste, la ITU-T L.155 sugiere una técnica de bajo impacto con una sección transversal aún más reducida de 5 cm y profundidades que no superan los 30 cm.

A continuación el cuadro comparativo respecto a estos dos parámetros:

Tabla 4.3: Cuadro comparativo criterios de excavación

Criterio	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Profundidad	30-40 cm	7 cm	30 cm
Sección transversal	07-15 cm	10-15 mm	5 cm

Inicialmente, puede notarse que las técnicas que involucran excavaciones menos profundas generan un menor disturbio, lo que podría ser más adecuado para áreas sensibles como zonas monumentales o históricas. Por esta razón, aunque la ITU-T L.153 ofrece un enfoque más robusto, podría ser menos atractiva para el contexto de nuestro estudio, dada su mayor invasividad. Continuaremos evaluando estas técnicas bajo un criterio de comparación más detallado, considerando tanto el impacto ambiental como la eficacia en la instalación y la integración de la infraestructura en el entorno urbano patrimonial.

4.3.2. Requisitos preliminares

4.3.2.1. Logística

Como es evidente las tres recomendaciones, ITU-T L.153, ITU-T L.154 y ITU-T L.155, indican la necesidad de obtener todos los permisos de excavación y de colocación de barreras y señales de acuerdo con los reglamentos vigentes. Estas señales deben ubicarse en posiciones claramente visibles, especialmente si las obras permanecerán abiertas durante la noche.

4.3.2.2. Ruta predefinida de la fibra

El despliegue debe adherirse a un diseño previamente establecido, presentado y aprobado por las entidades correspondientes. Esta ruta de la fibra se detalla como parte del diseño presentado en el capítulo 5 de esta tesis. En cuanto a los estándares de la ITU-T : Las tres recomendaciones como objeto de estudio exhortan como un requisito preliminar importante.

4.3.2.3. Condición de superficie

La ITU-T L.153 se adapta mejor a superficies asfaltadas como calles y aceras, sobre subsuelos compactos, mientras que la ITU-T L.154 requiere superficies de rodamiento que deben ser uniformes, sin desniveles ni ondulaciones, tanto transversal como longitudinalmente. Esta misma uniformidad es exigida por la ITU-T L.155, que se caracteriza por su menor profundidad de excavación.

4.3.2.4. Condición de subsuelo

En lo referente a la profundidad y tipo de subsuelo, la ITU-T L.153 desaconseja técnicas de mini zanja en terrenos como suelos arenosos y gravosos, así como en ubicaciones donde la existencia de servicios públicos subterráneos pueda interferir con la instalación. Al tratarse de profundidades mayores a comparación de las otras recomendaciones; este requisito es crucial para evitar impactos en infraestructuras existentes y asegurar la viabilidad del despliegue en las rutas propuestas.

Sin embargo en cuanto concierne a un despliegue subterráneo en general; este proceso es fundamental para determinar la ruta óptima, evitando interrupciones durante la instalación sobre todo en el contexto del CHC cuya área es sensible al hallazgo involuntario de vestigios arqueológicos. Para su despliegue efectivo; es imprescindible cumplir con ciertos requisitos y criterios anticipados, tanto para el corte como para la excavación.

4.3.2.5. Identificación de servicios

Las tres recomendaciones en evaluación, ITU-T L.153, ITU-T L.154, y ITU-T L.155, presentan consideraciones específicas antes de iniciar el proceso físico. Por ejemplo, la recomendación ITU-T L.153 y ITU-T L.155 requieren la identificación previa de los servicios subterráneos. Debido a su considerable profundidad, la recomendación ITU-T L.153 solicita esta medida como precaución, aunque el riesgo de interferencia no es tan alto como en una canalización tradicional. Por otro lado, la recomendación ITU-T L.154 no considera este

estudio preliminar, mientras que la ITU-T L.155, que hace referencia a la ITU-T L.260, sí contempla un mapeo rápido de servicios subterráneos. Cabe resaltar que según el análisis de la problemática mostrado en el capítulo 1, el 60% de los servicios se transmiten por vía subterránea. Por lo tanto estas técnicas agiliza la identificación de redes subterráneas, esencial para prevenir conflictos durante la instalación dependiendo del método normativo elegido. La recomendación ITU-T L.154, a diferencia de las otras, no requiere el uso de radar para identificar servicios subterráneos, lo que simplifica el proceso en ciertos escenarios.

Tabla 4.4: Comparación requisitos preliminares

Requisitos preliminares			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Requisitos logísticos	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere permisos de excavación y colocación de barreras - Requiere señalización durante el proceso - Requiere señalización de la infraestructura construida 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere permisos de excavación y colocación de barreras - Requiere señalización durante el proceso - Requiere señalización de la infraestructura construida 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere permisos de excavación y colocación de barreras - Requiere señalización durante el proceso - No requiere señalización de la infraestructura construida
Trazado pre-establecido de la fibra	- Requerido	- Requerido	- Requerido
Condición de la superficie	- Es aplicable en suelos compactados.	- Solo es aplicable en superficies de asfalto y hormigón.	- Es aplicable en suelos de asfaltados o suelos con base de material compacto.
Condición del subsuelo	- Desaconseja el despliegue en suelos arenosos y gravosos.	- Aconseja no traspasar la capa de asfalto.	- Desaconseja el despliegue en suelos arenosos y gravosos.
Identificación de servicios	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere documentación cartográfica de los servicios - Requiere estudios de geolocalización 	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere documentación cartográfica ni geolocalización de los servicios 	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo de su profundidad, se recomiendan estudios simples de geolocalización.

Cuando consideramos el despliegue de la infraestructura en el CHC, el estándar ITU-T L.155 se destaca como la alternativa más adecuada de acuerdo a sus requisitos preliminares debido a su capacidad para preservar el patrimonio. A diferencia de otras recomendaciones, ITU-T L.155 no requiere señalización permanente de la infraestructura tras su instalación, lo que ayuda a mantener intacta la estética visual de las áreas históricas. Su flexibilidad para adaptarse a diferentes superficies y condiciones del subsuelo, junto con procedimientos simplificados de geolocalización que podrían no ser necesarios en excavaciones menos profundas, protege la integridad del patrimonio.

4.3.3. Proceso constructivo

El proceso constructivo de soporte para redes ópticas comienza con el corte y trazado preciso de la excavación, siguiendo técnicas especializadas para marcar las áreas donde se realizarán las zanjas. Esta etapa define con claridad las dimensiones de la excavación, respetando los parámetros técnicos y de seguridad establecidos por las recomendaciones ITU-T.

Una vez marcado el trazado, se procede con la excavación, donde se remueve el material del subsuelo de acuerdo a las especificaciones detalladas. Se emplea maquinaria adecuada para minimizar la perturbación del entorno y garantizar la integridad estructural de la instalación. Finalmente, la limpieza y el resanado del área son esenciales para estabilizar la zona excavada y restaurar el entorno a su estado original. Estos procesos aseguran que no queden residuos ni obstáculos que puedan interferir con la funcionalidad de la red óptica.

Procederemos a evaluar cada etapa del proceso constructivo, centrándonos en la comparación de estas tres recomendaciones. Dado que la intervención puede ser considerablemente invasiva para el patrimonio, nuestro objetivo será determinar cuál de estos tres métodos resulta ser menos perjudicial y más conforme al marco regulatorio.

4.3.3.1. Corte y excavación

El procedimiento de corte es a menudo percibido como sencillo, implicando principalmente el uso de una máquina equipada con un disco de corte. No obstante, existen múltiples factores a considerar que pueden complicar esta tarea sobre todo tratándose de un área delicada como el CHC. Por ejemplo, es crucial tener en cuenta la potencia requerida por la máquina para alcanzar ciertas profundidades o anchuras de corte dependiendo del estándar elegido. También influyen otros factores secundarios como la durabilidad del disco, y los posibles inconvenientes como el atasco del mismo. Estos aspectos pueden influir significativamente en la eficiencia de la obra, reduciendo la progresión diaria estimada, lo cual es crucial si se requiere reducir el impacto ambiental en el CHC. Por ello, la elección del método de corte es fundamental.



Figura 4.5: Corte de pavimento para microcanalizado [18]

En la práctica es común adaptar máquinas existentes con discos más anchos para realizar microcanalizaciones. Sin embargo, en el mercado internacional ya se dispone de maquinaria especializada diseñada para este fin, que no solo permite obtener cortes más limpios sino también acelerar el despliegue de operaciones, gracias a sistemas integrados que cortan y aspiran el polvo simultáneamente.

La elección adecuada de discos es crítica, variando según el material a cortar, como asfalto, concreto, suelo mixto o roca. Utilizar el disco correcto no solo amplía el alcance del trabajo, sino que también prolonga la vida útil de los discos. Un punto crucial para esto es el conocimiento del suelo y de la superficie, referente a su composición.

En cuanto al marco regulatorio, es esencial cumplir con requisitos específicos durante el proceso de corte. Las recomendaciones, como la ITU-T L.155, sugieren realizar limpiezas simultáneas durante el corte. Un análisis comparativo de las tres recomendaciones revela que cada una impone condiciones que deben ser seguidas rigurosamente, como la implementación de barreras y señalización adecuadas, y el cumplimiento de las medidas de profundidad descritas en la tabla 4.5, las cuales podrían ser aún más restrictivas.

Tal y como de muestra en esta tabla, el análisis integrado y detallado facilita la selección de métodos y herramientas adecuadas para la ejecución eficaz de proyectos de infraestructura, asegurando cumplimiento y eficiencia operativa.

Tabla 4.5: Comparación corte y excavación

Corte y Excavación			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Manejo de la ruta	Recomienda evitar alteraciones bruscas en el trayecto de la excavación, respetando los radios de curvatura requeridos para los materiales instalados.	Recomienda evitar alteraciones bruscas en el trayecto de la excavación, respetando los radios de curvatura requeridos para los materiales instalados.	Recomienda evitar alteraciones bruscas en el trayecto de la excavación, respetando los radios de curvatura requeridos para los materiales instalados.
Método de corte y excavación	Es crucial mantener un trayectoria constante en la excavación para proteger los cables de posibles daños por torsión o flexión.	Esta norma, al igual que la ITU-T L.153, destaca la importancia de mantener un trayecto lineal.	Requiere cortes angulares para maniobras inevitables.
Equipamiento	Se utiliza maquinaria especializada con discos de corte, diseñada específicamente para este fin. Se concentra en el uso de maquinaria de disco para corte sin especificar detalles adicionales.	Implementa la técnica de microzanja mediante equipos que cortan asfalto, adaptando la velocidad de corte a las características del equipo. Menciona apropiadamente la adaptabilidad en la velocidad de corte de las máquinas para asfalto.	Utiliza discos de corte de tamaño menor en equipos compactos, enfocados en minimizar el daño al pavimento adyacente y conectados a sistemas de aspiración para mantener la zona libre de escombros.
Verificación del subsuelo	Periódicamente, se realiza la toma de muestras del subsuelo para verificar la idoneidad del suelo y detectar posibles obstáculos.	No especifica la toma de muestras del subsuelo como parte integrante del proceso, enfocándose más en la técnica de corte y manejo de la excavación.	Sugiere un conocimiento detallado del área que ayuda a evitar problemas durante la instalación de la infraestructura.
Cierre del sitio	No se especifica un procedimiento para el cierre del sitio al final del día.	Similar a ITU-T L.153, ITU-T L.154 no detalla un procedimiento específico para el manejo del sitio una vez finalizada la jornada laboral.	Específicamente requiere que el sitio se abra y cierre en el mismo día, asegurando que no queden excavaciones abiertas durante la noche para minimizar los riesgos de seguridad.
Protección de la infraestructura urbana	No se menciona la protección específica del pavimento urbano cerca a la excavación.	No se aborda específicamente, aunque el uso de tecnología indica que para cortar asfalto sugiere un cuidado interno para minimizar daños.	La zanja urbana se corta con dientes de sierra de pequeñas dimensiones para no dañar el pavimento cercano.

Gracias al análisis, es evidente que recomendaciones como la ITU-T L.154 y ITU-T L.155 son preferidas debido a su bajo impacto ambiental en el criterio de corte y excavación.

4.3.3.2. Limpieza

En cuanto a la limpieza de las zanjas, la recomendación ITU-T L.154 recomienda el uso de agua a presión seguido de secado con aire comprimido. Este método es especialmente crucial también para la recomendación ITU-T L.155, dado que la eficiencia en la limpieza del conducto es fundamental para facilitar el soplado mecánico de la fibra óptica. Por otro lado, debido a sus dimensiones más grandes, la recomendación ITU-T L.153 permite métodos de limpieza más tradicionales en comparación con las mencionadas anteriormente.

Tabla 4.6: Comparación limpieza y succión de desechos

Limpieza			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Procedimientos	Después de la excavación se requiere la eliminación del material desplazado, la remoción del pavimento dañado y la purificación del fondo de la zanja.	Se comienza limpiando con agua a alta presión, seguido de aire comprimido y un secado final con aire caliente, aplicando técnicas que garantizan una zanja libre de humedad.	Se adopta un enfoque de limpieza paralela a la excavación, utilizando tecnología de succión. Este método no solo limpia sino que también acelera el proceso, manteniendo la eficiencia en el tiempo.
Finalidad de la limpieza	Asegura que el área excavada esté libre de obstáculos y residuos, preparando el terreno para cualquier operación subsecuente.	Adicionalmente a la limpieza, se enfoca en dejar la zona completamente seca para facilitar las instalaciones posteriores sin problemas de humedad.	Su finalidad es preparar el sitio rápidamente para las siguientes fases de trabajo, especialmente en áreas públicas donde la rapidez es crucial para minimizar las interrupciones.
Equipamiento específico	Utiliza herramientas manuales y mecánicas básicas para la remoción de escombros y la limpieza del área.	Emplea tecnología específica como cañones de agua a presión y sopladores de aire caliente, que requiere una operación técnica más refinada.	Incorpora sistemas avanzados de succión y aspiración que trabajan en conjunto con la excavación, permitiendo una limpieza eficaz y continua.
Consideraciones ambientales y sociales	Menos enfocado en el impacto ambiental, centrándose más en el mantenimiento del orden y la limpieza en el sitio.	Aunque la técnica es eficaz, no se especifica el manejo de desechos más allá del sitio de excavación, lo que podría necesitar consideración adicional dependiendo de la regulación local.	Destaca por su gestión de residuos conforme a las normativas locales y por su alta eficiencia en reducir la molestia pública y la contaminación durante la fase de limpieza, haciendo énfasis especial en prácticas sostenibles y amigables con el entorno urbano.

Gracias al análisis comparativo de esta etapa del proceso constructivo podemos percatarnos que la recomendación ITU-T L.155 destaca por su gestión de residuos conforme a la normativas locales [60].

4.3.3.3. Resanado

La restauración es una etapa crítica en la elección del método y la normativa para su aplicación en el **CHC**, dado que se deben seguir lineamientos de preservación patrimonial que exigen mínima intromisión. Una restauración inadecuada puede causar daños considerables en la infraestructura, como baches irregulares, lo que no solo deteriora la imagen del proyecto, sino que también suscita críticas sobre la eficacia del microcanalizado.

El proceso de restauración es fundamental para garantizar la integridad a largo plazo de la infraestructura. Es imperativo utilizar materiales de alta calidad para los resanes, especialmente en Cusco, donde el clima y la presencia de lluvias ofrecen condiciones desfavorables para la durabilidad de estos materiales. Por estas razones es crucial elegir el método de resane más adecuado.

Se han explorado diversos materiales para resanes, incluyendo asfalto caliente y frío, mortero de cemento con aditivos, resina epóxica, y hasta poliuretano, aunque éste último es más costoso. A pesar de que la recomendación **ITU-T L.154** podría parecer adecuada debido a su naturaleza poco invasiva y las pequeñas dimensiones requeridas en los cortes, se ha encontrado que el uso de asfalto caliente, recomendado para enterrar directamente la fibra óptica, es incompatible con las calles del **CHC**. Este método podría resultar en un acabado estéticamente inaceptable y podría poner en riesgo el patrimonio visual del lugar, especialmente debido a los numerosos desniveles presentes.

Tabla 4.7: Comparación proceso constructivo de resane

Resanado			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Procedimientos de relleno	Utiliza hormigón con aditivos para crear una estructura porosa que simula las características mecánicas del subsuelo. El relleno debe ser estable, cohesivo y permeable, diseñado para soportar tanto el ligero tráfico como pesado, sin asentamientos diferenciales.	La zanja se cierra con asfalto líquido caliente aplicado sobre un agente líquido que asegura la adhesión completa a las paredes de la zanja, llenándola de forma uniforme para prevenir irregularidades.	Se rellena la zanja con un mortero de cemento de alta resistencia y fraguado rápido. Este mortero está diseñado para soportar cargas vehiculares y adaptarse a las variaciones térmicas, ofreciendo además una alta compatibilidad con el pavimento existente.
Materiales de relleno	Hormigón con aire incorporado para mejorar la compatibilidad con el subsuelo y proporcionar protección mecánica a la canalización. Para las capas más superficiales, asfalto fundido o mezclas frías, dependiendo de las necesidades específicas del sitio.	Asfalto líquido caliente que necesita condiciones específicas para su aplicación para asegurar la uniformidad y la duración del sellado.	Mortero de cemento diseñado específicamente con alta resistencia a la compresión, fluidez para un llenado efectivo y características que permiten un ajuste perfecto a las paredes de la zanja.
Tiempo de curado	El relleno permite que el tráfico se reanuden al menos 24 horas después de completar el relleno, asegurando que el concreto haya alcanzado una dureza adecuada.	El relleno de asfalto líquido permite un tiempo de curado relativamente rápido, pudiendo reanudar el tráfico poco después de su aplicación gracias a su rápida adherencia y secado.	El diseño del mortero permite que el tráfico se reanude entre 2 y 4 horas después de su aplicación, minimizando así la interrupción en áreas de alto tráfico como el CHC.
Consideraciones adicionales	El proceso incluye medidas específicas para mantener la limpieza y seguridad durante y después del relleno, como la utilización de barreras temporales y señales de advertencia.	La aplicación del asfalto requiere precisión y control de la temperatura, condiciones que deben ser meticulosamente administradas para evitar irregularidades.	Además de sus propiedades mecánicas, el mortero de cemento es diseñado para ser fácilmente removible en caso de futuras reparaciones, ofreciendo ventajas en mantenibilidad y acceso a la infraestructura subterránea sin causar daños al pavimento.
Integración visual y estética	El relleno está diseñado para ser lo más similar posible en color y textura al pavimento existente, asegurando una integración visual efectiva en el entorno histórico.	Se busca una integración visual mediante el control preciso de la aplicación del asfalto, asegurando que el acabado sea uniforme y estéticamente agradable.	El mortero ofrece características que permiten igualar las propiedades visuales del pavimento circundante, destacando la importancia de la estética en la repavimentación de zonas con alto valor histórico y estético.

Tras evaluar las estrategias de resanado descritas en las recomendaciones ITU-T L.153, ITU-T L.154, y ITU-T L.155, se determina que la recomendación ITU-T L.155 representa la mejor opción para la implementación de redes ópticas en el CHC. Esta recomendación optimiza tanto la funcionalidad como la estética, integrando perfectamente el mortero de alta resistencia y fraguado rápido que asegura una mínima interrupción y una elevada durabilidad.

Además, la facilidad de removibilidad del mortero favorece futuras intervenciones sin comprometer la estructura o la apariencia del pavimento existente. Por lo tanto, ITU-T L.155 no solo satisface los requisitos operativos y de seguridad de manera eficiente, sino que también protege el valor histórico y estético del área, convirtiéndola en la alternativa más adecuada para zonas con alto valor patrimonial.

4.3.4. Tendido de la infraestructura

En el marco de los estándares ITU-T, se consideran actividades que involucran el despliegue físico de la red, específicamente la fibra óptica. Estas regulaciones aseguran que cualquier intervención en el sitio patrimonial sea reversible, discreta y no invasiva.

A continuación, se expone el análisis comparativo relacionado con la implementación de la infraestructura, abarcando la instalación del cable, su protección y los procedimientos de empalme correspondientes.

4.3.4.1. Tendido del cable

Tabla 4.8: Comparación tendido del cable

Tendido del cable			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Método de instalación	El cableado e instalación de conductos pueden realizarse de manera simultánea o no. La instalación simultánea involucra equipos que integran el tendido de cable a medida que se realiza la excavación.	El cable se instala manualmente desde un carrete siempre asegurando cuidado en los radios de curvatura para proteger la integridad del cable.	Se puede realizar el tendido después del proceso de curado del resane, optimizando el uso del espacio y la interferencia con el entorno urbano.
Flexibilidad	Alta flexibilidad operativa; permite adaptación en campo ante obstáculos imprevistos sin necesidad de cortar los cables.	Menor flexibilidad comparada con ITU-T L.153 y ITU-T L.155, requieren precisión en el manejo manual del tendido.	Extremadamente flexible, permitiendo realizar la instalación en diferentes momentos y adaptarse a restricciones urbanas severas, como tráfico intenso o regulaciones administrativas.
Capacidad de manejo de obstáculos	Equipos diseñados para retirar fácilmente la canalización del carrete en caso de encuentro con obstáculos, facilitando la continuación del tendido con métodos convencionales.	No especifica medidas particulares para el manejo de obstáculos más allá de la instalación cuidadosa manual.	Similar a ITU-T L.153, permite retirar la bobina de la máquina sin cortar los conductos, asegurando la continuidad de la instalación bajo condiciones complicadas.

4.3.4.2. Protección del cable

Tabla 4.9: Comparación métodos de protección del cable

Protección			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Método de protección	Canalización de hierro galvanizado protegido contra riesgos externos. Utiliza canaletas en forma de U cubiertas con acero para protección contra daños.	Empieza una tira de retención de polietileno, fijada con rodillos y cubierta con hule para ofrecer protección térmica y mecánica contra elementos externos.	No proporciona detalles sobre protección directa de la fibra en sí, enfocándose más en la protección del microducto, que será discutido en secciones futuras.
Durabilidad y robustez	Ofrece una protección muy duradera y robusta, adecuada para áreas con condiciones de interferencia severa, excelente para climas adversos como Cusco.	Ofrece una combinación de protección mecánica y térmica, asegurando que el cable esté bien asegurado y protegido dentro de la zanja.	La especificidad sobre microductos sugiere una estrategia orientada a adaptar la protección según las condiciones y necesidades del tendido. La determinación de la sección transversal del corte es crucial.
Adaptabilidad y flexibilidad	La infraestructura protegida puede ser modificada <i>in situ</i> si se encuentran obstáculos imprevistos cruciales en el CHC como por ejemplo muros incas existentes.	Menos adaptable puesto que la instalación requiere precisión en el manejo y colocación de la tira de retención y el hule protector.	Implica una alta adaptabilidad dependiendo de la elección y configuración de los microductos.

4.3.4.3. Empalme del cable

Tabla 4.10: Comparación descripción método de empalme

Empalme			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Descripción de métodos de empalme	Facilita la instalación de cables evitando intervenciones de empalme cuando se encuentran obstáculos. Permite retirar los carretes sin cortar los cables, continuando la instalación con métodos convencionales. Lo que puede implicar mayor comodidad para el equipo técnico instalador pero mayor riesgo de hallazgos arqueológicos.	Utiliza cajas de empalme robustas y selladas a nivel del suelo, diseñadas para proteger mecánica y térmicamente el cable. Estas cajas requieren una preparación cuidadosa del espacio con un orificio preciso para un empalme hermético. Aunque la instalación del cableado puede realizarse de manera más discreta a comparación de ITU-T L.153 y ITU-T L.155, la colocación de las cajas distribución contemplar un método no discreto, resultando a menudo en transiciones notorias y abruptas.	Similar a ITU-T L.153, evita los empalmes innecesarios permitiendo la retirada de los cables en situaciones complicadas, reduciendo la necesidad de ajustes técnicos complejos y fomentando un tendido directo y eficiente.

Gracias a estas evaluaciones de las recomendaciones ITU-T L.153, ITU-T L.154 y ITU-T L.155 para el tendido de infraestructura de fibra óptica, se identificaron consideraciones críticas que influyeron en la elección final del estándar adecuado:

- La recomendación ITU-T L.154, a pesar de ofrecer un manejo preciso y meticuloso del tendido manual, presenta desafíos significativos debido a sus altas exigencias operativas y de protección. Específicamente, esta recomendación requiere el uso de fibra óptica altamente resistente, capaz de soportar las condiciones del asfalto caliente utilizado en los procesos de resane. Además, la implementación manual detallada, junto con la gestión rigurosa de los empalmes profundos y variaciones abruptas de profundidad, aumentan el riesgo de daño y complican la operatividad.
- Por otro lado, la recomendación ITU-T L.153 también fue considerada; aunque ofrece ventajas en la facilidad operativa del despliegue de la infraestructura, incluyendo la protección del tendido y la gestión de los empalmes, que son comparativamente menos exigentes. Sin embargo, esta recomendación se descartó debido a las mayores posibilidades de interferencia patrimonial, sobre todo en lo que respecta a la instalación de cajas de empalme, lo que representa un riesgo elevado.
- Por lo tanto se seleccionó la recomendación ITU-T L.155 como la más adecuada para este proyecto. Esta recomendación destaca por su flexibilidad en la disposición del tendido, aunque su implementación depende significativamente de la configuración específica, incluyendo el número de cables y ductos a instalar. Este factor es crucial y debe ser cuidadosamente considerado para garantizar una integración exitosa y segura del sistema de fibra óptica. La elección de ITU-T L.155 se justifica por su equilibrio óptimo entre operatividad, seguridad y adaptabilidad, adecuándose a las necesidades específicas del proyecto sin comprometer la integridad de la infraestructura ni el entorno.

4.3.5. Mantenimiento

El mantenimiento es esencial tanto para un despliegue efectivo como para el diseño de la red en la fase de infraestructura. Por lo tanto, el acceso a medidas de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, debe ser eficiente. En esta parte del análisis comparativo, es fundamental determinar cuál de las tres recomendaciones ofrece una mejor viabilidad para su mantenimiento. Debido a que nuestro enfoque es más físico, este análisis se centrará principalmente en la fase correctiva o post-falla del mantenimiento, ya que es en esta etapa donde se manifiestan los mayores impactos en la infraestructura. De acuerdo con la recomendación ITU-T L.153, el mantenimiento de un cable defectuoso implica reemplazar la sección afectada. Este proceso requiere primero remover el asfalto y las protecciones sobre el cable, cortar el tramo dañado y extraer las fibras necesarias para realizar el empalme. Las conexiones se efectúan utilizando cajas de empalme en ambos extremos de la sección reparada. Este procedimiento destaca la necesidad de una remoción completa del resane en casos de cables enterrados directamente, lo cual será ilustrado en la siguiente figura:

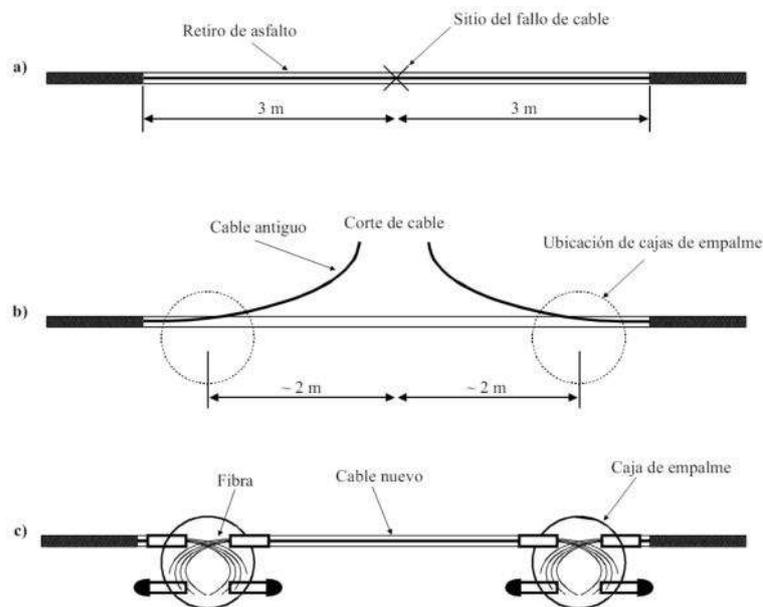


Figura 4.6: Mantenimiento y reparación de un cable [20]

A continuación, presentamos una tabla comparativa que resume y contrasta los métodos de mantenimiento prescritos por ITU-T L.153, ITU-T L.154, y ITU-T L.155.

Tabla 4.11: Análisis comparativo sobre el mantenimiento

Mantenimiento			
	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Método general	Utiliza técnicas estándar para infraestructuras subterráneas, así como funciones de vigilancia, evaluación y control.	Se enfoca en técnicas estándar de vigilancia, pruebas y control, pero sobresale por su meticuloso enfoque en la gestión de fallos, incluyendo la remoción de asfalto, el corte y empalme de cables.	Al igual que la normativa ITU-T L.153, emplea técnicas estándar para el mantenimiento general, como la vigilancia, las pruebas y el control, pero mejora la accesibilidad y la rapidez de intervención.
Reemplazo de la infraestructura	El reemplazo del cable puede facilitarse mediante el uso de tecnologías avanzadas, dependiendo del tipo de ductería instalada, o mediante tendidos tradicionales. En cuanto al reemplazo de la ductería, se ve beneficiado por la facilidad de remoción del concreto, aunque esto requiere una obra civil de mayor envergadura. Por otro lado, la remoción e instalación de cajas nuevas se puede adaptar a infraestructuras más pequeñas.	El reemplazo del cable es extremadamente difícil, ya que requiere la remoción completa del asfalto y el resanado para acceder al cable enterrado, lo cual implica un esfuerzo considerable y elevados costos. En cuanto a la remoción e instalación de cajas nuevas, se continúa aplicando el método tradicional.	El reemplazo del cable se realiza de manera rápida y eficiente, evitando excavaciones profundas gracias al uso de la técnica de soplado. En cuanto al reemplazo de la ductería, dependiendo de su configuración, este puede no ser necesario si se ha previsto la instalación de la ductería sin fibra como medida de contingencia. Respecto a la remoción o instalación de nuevas cajas, este estándar ofrece flexibilidad para adaptarse a todos los tamaños, condicionada exclusivamente por factores externos, como las características del suelo.
Impacto en CHC	Bajo, favorecido por la fácil manipulación de materiales, excepto cuando sea necesario cambiar o restaurar la ductería.	Alto, por la necesidad de excavación y reconstrucción del asfalto y otras superficies.	Mínimo, facilitar la conservación del patrimonio con técnicas mínimamente invasivas.
Interferencia con servicios	Baja, con adecuada planificación.	Alta, las operaciones pueden causar interrupciones importantes en los servicios debido a los trabajos de excavación.	Muy baja, las intervenciones son rápidas y apenas disruptivas, permitiendo el mantenimiento sin afectar los servicios activos.

La recomendación ITU-T L.155 se destaca como la mejor alternativa en cuanto al mantenimiento se refiere, debido a su eficiencia y técnicas mínimamente invasivas, crucial para el CHC. Ofrece un reemplazo de cable rápido y eficiente a través de la técnica de soplado, minimizando la necesidad de excavaciones profundas y la interrupción de servicios. A diferencia de las recomendaciones ITU-T L.153 y L.154, la ITU-T L.155 también facilita operaciones de mantenimiento sin la necesidad de obras civiles extensas y con menor impacto en el patrimonio histórico, gracias a su enfoque de preservación y menor disruptividad.

4.3.6. Síntesis comparativa de métodos de despliegue de redes ópticas

Esta sección presenta un análisis consolidado de los cuadros comparativos utilizados para evaluar las diferentes recomendaciones ITU-T en términos de su aplicabilidad y eficacia en el CHC. A través de un enfoque sistemático, se sintetizan los datos clave de cada recomendación, con especial atención en la ITU-T L.155. Este resumen no solo subraya las ventajas comparativas de cada norma, sino que también destaca cómo la ITU-T L.155 emerge como la opción más viable para el despliegue de redes en contextos patrimoniales, dada su menor invasividad y eficiencia mejorada en el mantenimiento.

Tabla 4.12: Síntesis elección de método de despliegue

Criterio	ITU-T L.153	ITU-T L.154	ITU-T L.155
Profundidad y sección transversal	Aceptable	Limitada	Óptima
Requisitos preliminares	Completo	Completo	Simplificado
Proceso constructivo	Invasivo	Moderado	No invasivo
- Corte y excavación	Moderadamente invasivo	Menos invasivo	Mínimamente invasivo
- Limpieza	Estándar	Mejorada	Óptima
- Resanado	Mayor impacto	Medio impacto	Menor impacto
Tendido de infraestructura	Visible	Menos visible	Mínimamente visible
- Tendido del cable	Flexible, adaptación <i>in situ</i>	Menos flexible	Extremadamente flexible
- Protección del cable	Robusta, para climas adversos	Protección térmica y mecánica	Ajustada a microductos
- Empalme	Facilita la instalación sin cortes	Empalmes sellados	Mínimiza empalmes
Mantenimiento	Regular	Difícil	Eficiente
Impacto en CHC	Moderado	Alto	Bajo

En la siguiente figura se presenta un esquema visual que ilustra el proceso de instalación según la recomendación ITU-T L.155, destacando la eficiencia de este método. El esquema muestra claramente cómo se realizan simultáneamente el corte del suelo, la succión de desechos, el tendido del ducto y el resane. Este enfoque integrado no solo acelera el proceso de instalación, sino que también reduce el impacto ambiental y visual en el entorno histórico del CHC, consolidando la ITU-T L.155 como la opción preferente.

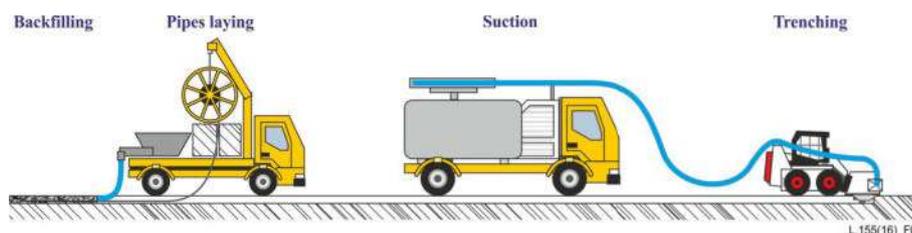


Figura 4.7: Zanjeo activo técnica ITU-T L.155[15]

4.4. Compatibilidad de infraestructura con ITU-T L.155

4.4.1. Elección de la fibra

La elección de fibra óptica es crucial en el diseño de redes ópticas, especialmente en zonas de relevancia patrimonial como el **CHC**. Los operadores de redes, enfrentando la necesidad de mayor ancho de banda y tasas de datos, encuentran en las fibras ópticas de baja pérdida una solución ideal. Estas fibras son capaces de extender el alcance óptico y escalar la red para soportar mayores capacidades.

En esta sección, concentraremos nuestra atención en las características mecánicas y de recubrimiento necesarias para nuestros cables de fibra óptica. Detalles como la selección de hilos de fibra, presupuestos ópticos, ubicaciones y otros criterios críticos, se explorarán en profundidad en el capítulo 5, dentro del contexto del diseño de la red y la evaluación de la demanda potencial aproximada.

Como se discutió en el capítulo 2 del marco teórico, un cable de fibra óptica cuenta con múltiples protecciones que lo hacen más resistente a agentes externos, pero esto incrementa su tamaño, lo cual podría no ser compatible con el estándar **ITU-T L.155**. Esto nos lleva a considerar la tecnología de microcables. En el siguiente cuadro comparativo, analizaremos las diferencias frente a un cable convencional.

Es importante destacar que las mediciones de cable y peso están referenciadas para fibras de 144 hilos, lo que no necesariamente representa el número de hilos en nuestro diseño, pero sí proporciona una comparación proporcional entre ambos tipos de cables.

Tabla 4.13: Comparativa de cables de fibra óptica para compatibilidad con ITU L.155 [1]

Comparación fibra tradicional vs. microcable		
Característica	Cable tradicional	Microcable
Diámetro del cable	14.9 mm (Altos)	8.1 mm (Ultra Corning SMF-28)
Peso por kilómetro	165 kg	53 kg (reduce el peso hasta en un 70 %)
Tensión máxima	2.7 kN	1.3 kN
Volumen y costo de instalación	Mayor volumen implica mayores costos y tiempo	Menor volumen, disminuye hasta un 60% el tamaño, optimizando la instalación
Tubos de protección	Tubos de protección de 2.5 mm	Tubos de protección de 1.4 mm
Densidad de fibras	Menor densidad de fibras por tubo	Mayor densidad de fibras por tubo
Tiempo de instalación	Mayor tiempo debido al tamaño y peso	Menor tiempo, especialmente en espacios restringidos
Tecnología y eficiencia	Requiere un espacio considerable para instalación	La tecnología de microductos permite una instalación. eficiente y rápido, aumentando la densidad de fibra por conducto.
Manejo del cable	Manejo estándar	Requiere equipos específicos para manejo sin daños
Capacidad futura	Difícil expansión sin construcción de nuevos ductos	Los microductos permiten futuros expansiones con bajo costo y alto flexibilidad.
Impacto estructural	Mayor, debido al tamaño del cable y los ductos necesarios	Menor, ideal para zonas sensibles como el CHC.

Como se puede observar, el microcable representa una forma compatible de desplegar redes en microcanalizaciones conforme a la recomendación ITU-T L.155. En comparación con un cable convencional, que incorpora una doble chaqueta de polietileno, una capa de *kevlar* y un núcleo robusto diseñado para soportar considerables tensiones en instalaciones tanto aéreas como subterráneas, el microcable ofrece un diseño más simplificado. Este diseño suprime los elementos de refuerzo y protección característicos de los cables tradicionales, delegando la protección mecánica al microducto que resguarda el cable, enfocándose exclusivamente en la conectividad. Al prescindir de coberturas adicionales y emplear un material central más delgado, el microcable presenta una tensión máxima a corto plazo inferior a la de un cable tradicional, tal y como se evidencia en la tabla 4.13. Debido a esto, se recomienda que la instalación del microcable se efectúe mediante soplado, conforme a ITU-T L.155.

4.4.2. Elección del ducto

Al optar por microcables como la alternativa más apropiada, es esencial seleccionar microductos adecuados, siendo estos plenamente compatibles con el proceso constructivo y las especificaciones de la recomendación ITU-T L.155. Es crucial considerar la proporción entre el diámetro interno del microducto y el del microcable. Según las especificaciones del fabricante Corning *Optical Communications*, esta proporción debe situarse entre 50% y 80%, asegurando así una instalación eficiente. Si el microcable es significativamente menor que el microducto, el proceso de soplado podría ser menos eficiente. [6].

Los diámetros internos de los microductos varían entre 5 y 14 milímetros. Aunque existen microductos de hasta 20 mm, su uso no se recomienda para instalaciones superficiales, como las realizadas en el **CHC**, debido a la complejidad que conllevan. Considerando la compatibilidad con el diámetro exterior de las fibras, se ha seleccionado un microducto de 10.0 mm de diámetro interior. Esta elección proporciona una notable flexibilidad, permitiendo el alojamiento de entre 12 y 72 hilos utilizando fibras SMF-28, como se detalla en la tabla 4.14 y con tecnologías más avanzadas, puede soportar hasta 288 hilos, como se indica en la tabla 4.15 [1].

Tabla 4.14: Relación de ocupación ducto 10 mm *MiniXtend*

	fibra 12-72 hilos	fibra 96 hilos	fibra 144 hilos
Diámetro exterior	5,4 mm	6.3 mm	81 mm
Fill ratio	54%	63%	81%

Tabla 4.15: Relación de ocupación ducto 10 mm *MiniXtend HD*

	fibra 144 hilos	fibra 192 hilos	fibra 216 hilos	fibra 288 hilos
Diametro exterior	5,4 mm	6,3 mm	80 mm	8,1 mm
Fill ratio	63%	75%	80%	81%

Siguiendo las recomendaciones óptimas de la proporción de llenado (*fill ratio*), este tamaño se presenta como el más adecuado para nuestro proyecto. Estos microductos, fabricados comúnmente en *high density polyethylene (HDPE)*, no solo reemplazan a los conductos

convencionales con alternativas más compactas, sino que también están diseñados para minimizar el volumen ocupado. Un aspecto crucial es el revestimiento interno de los microductos. Estos no consisten meramente en tubos de polietileno, sino que se caracterizan por su baja fricción interna. Esta propiedad es fundamental, ya que minimiza la fricción entre el ducto y el microcable durante la instalación, permitiendo alcanzar mayores distancias e reduciendo el riesgo de daño a la delicada cubierta del microcable. Los microductos facilitan la instalación de microcables en compartimentos internos, optimizando la densidad de fibra por conducto y reduciendo los costos de implementación al evitar métodos constructivos más onerosos. Aunque el enfoque principal de esta tesis no es la búsqueda de alternativas económicas, dado su carácter social, es relevante mencionar este aspecto para fortalecer la fundamentación de nuestra propuesta.

Con estas consideraciones presentamos las especificaciones del microducto elegido:

Tabla 4.16: Especificaciones del microducto

Característica	Descripción
Compatibilidad	Adaptados a la normativa ITU-T L.155
Material	HDPE o DPE, optimizado para densidad urbana.
Diámetro interior	10 mm
Diámetro exterior	12 a 18 mm, equilibra eficiencia y funcionalidad.
Relación de ocupación	Entre 50 % y 80 % para asegurar la instalación.
Recubrimiento interno	60 % menos fricción; protege y amplía distancia de tendido.
Densidad y costo	Mayor densidad de fibra por conducto y menor costo.
Impacto en CHC	Diseño discreto, minimizando alteraciones visuales y estructurales.

Considerando estos detalles una opción viable consiste en los modelos compuestos por varios microductos, los cuales ofrecen flexibilidad para futuras extensiones. Esto se ha analizado como parte de nuestra propuesta en el perfil normativo del capítulo 3. Además, existen modelos que agrupan varios microductos bajo una única funda, lo que representa una evolución natural de los conductos convencionales. No obstante, la viabilidad de esta opción está condicionada por su configuración específica, que se detallará a continuación.

4.4.3. Configuración de ductos

Para dimensionar adecuadamente la planta de una red óptica, es fundamental considerar el número de ductos y cables de fibra óptica. Esta decisión debe basarse teniendo en cuenta las recomendaciones de los fabricantes sobre la relación de ocupación (*fill ratio*), detallada en la tabla 4.16. Para ilustrar de manera efectiva la implementación de una red de ductería con configuración de varios ductos en el CHC, a continuación se presenta una figura detallada. Esta imagen demuestra la importancia de tener en cuenta los radios de curvatura durante el despliegue de la red, destacando cómo una planificación cuidadosa de estos elementos es crucial para garantizar la viabilidad y eficacia del sistema. La figura muestra claramente la disposición de los ductos y cómo los radios de curvatura adecuadamente calculados contribuyen significativamente a optimizar la instalación y la operación continua de la red en áreas patrimoniales.



Figura 4.8: Instalación microductos configuración 1 x 4 [18]

4.4.3.1. Configuración en la red principal

La organización de estos ductos es crucial, ya que influye directamente en la disposición de la longitud de la sección transversal del corte. Dado que esta tesis propone un diseño de despliegue para un solo cable de fibra óptica en su red troncal o principal, contemplamos inicialmente la inclusión de un solo ducto. Sin embargo, considerando posibles ampliaciones futuras y basándonos en el análisis del marco regulatorio, hemos decidido instalar un ducto adicional. Éste permitirá la inclusión de una fibra de mayor o menor capacidad según sea

necesario. Por lo tanto, en su red troncal la configuración inicial consistirá en el despliegue de dos microductos, organizados en una estructura vertical de dos filas y una columna (2x1). Esta configuración garantiza una sección transversal óptima y facilita futuras expansiones. Es importante destacar que el número de filas dependerá del tramo, ya que la red troncal podría estar acompañada por la red de distribución.

Con esta premisa como base, seleccionaremos las opciones que mejor se alineen con las recomendaciones ITU-T L.155, enfocándonos en minimizar el impacto ambiental y visual. Asimismo, priorizaremos opciones que sean resistentes y compatibles con el despliegue de tecnologías de redes. Para el análisis comparativo, hemos evaluado tres tipos de ductos; microducto directo de HDPE, *Future Path* y *FutureFlex*.

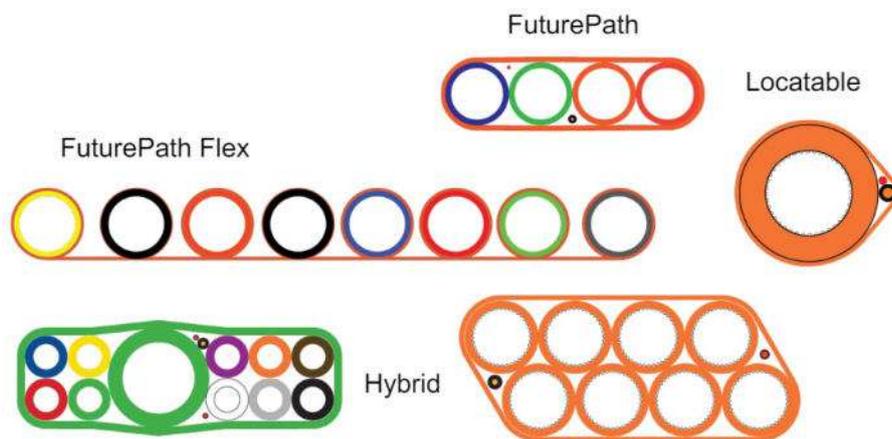


Figura 4.9: Diferentes configuraciones [21]

En el mercado, tanto *Future Path* como *Future Flex* están disponibles en configuraciones de dos vías, destacando por su versatilidad para adaptarse a las diversas necesidades de redes externas. Específicamente, el sistema *Future Flex* integra microductos independientes, unidos mediante una costilla de plástico, facilitando significativamente la derivación de estos para su uso en redes FTTH. Esta configuración también permite la instalación vertical del sistema, optimizando así la sección transversal del corte. Por otro lado, el microducto solitario, que constituye la unidad básica de despliegue, requiere una instalación cuidadosa. En su implementación práctica, cuando los ductos se apilan en una configuración de $n \times 1$, el método usual para evitar el uso de materiales adicionales de estabilización es utilizar el mismo material de relleno, lo que puede complicar la instalación al ser más inestable. A

continuación, presentamos una tabla comparativa que detalla las especificaciones técnicas de los modelos disponibles. Esta tabla facilita la comparación directa de características esenciales como el diámetro, la tracción máxima y el peso por metro, así como detalles más avanzados que indican si los productos son compatibles con otras tecnologías, como la localización de redes. Estos recursos son esenciales para facilitar la elección del producto más adecuado para el despliegue de redes ópticas en el CHC [103], [104] y [105].

Tabla 4.17: Comparativa de especificaciones de configuraciones

Especificaciones	Microducto HDPE	Future Path	Future Path Flex
Configuración	Vertical 2x1	Vertical 2x1	Vertical 2x1
Diámetro interno	10 mm	14 mm	14 mm
Diámetro externo	14 mm	14 mm	12.7 mm
Diámetro exterior nominal	14 mm (x2)	30 mm	No especifica
Radio de curvatura soportado	15.24 cm	30.48 cm	15.24
Radio de curvatura no soportado	27.94 cm	60.96 cm	27.94 cm
Tracción máxima	120 Kg (x1)	360 kg	285 Kg
Peso por metro	22.67 g (x2)	67.58 g	53.52
Revestimiento	Silicore	Silicore	Silicore
Cable de localización	No incluye	Incluye	No incluye

Considerando estos factores, junto con el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos de la ITU-T 155, el *Future Path* en su configuración 2 x 1 y adaptable a n x 1 se consolida como la mejor opción para el despliegue efectivo de una red troncal de fibra óptica en el CHC, ofreciendo además la posibilidad de futuras expansiones y mejoras.

4.4.3.2. Configuración en la red secundaria o de distribución

Si bien la configuración de la red troncal ha sido optimizada para maximizar la eficiencia y resiliencia, la red secundaria presenta desafíos únicos debido a la variabilidad del terreno y la distribución de los lotes en el CHC. Estos factores exigen una estrategia más flexible y adaptativa. Por esta razón, en la red secundaria se considera la utilización de los tres tipos de ductos; microducto directo de HDPE, *Future Path* y *Future Flex*. Adaptando cada uno según las necesidades específicas y las características del entorno. El sistema *Future Flex*, en particular, se usará principalmente en derivaciones, pasando por cámaras *Bulk 0* como

se detalla en el diseño del capítulo 5. Esta configuración facilita la expansión y adaptación a entornos complejos, haciendo de éste una opción valiosa para áreas con requerimientos de instalación más flexibles y menos disruptivas. A continuación, presentamos una imagen que ilustra un ejemplo de la instalación de este tipo de ducto, demostrando su utilidad en configuraciones que requieren flexibilidad y eficiencia.

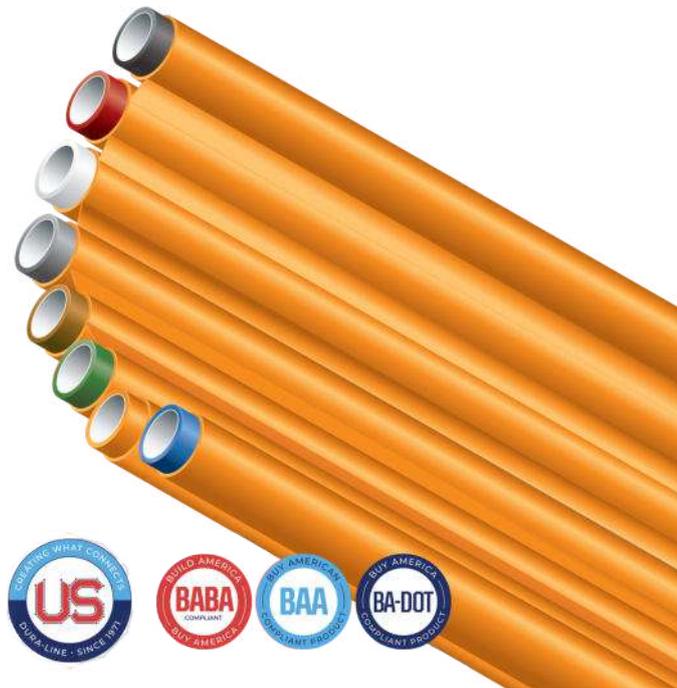


Figura 4.10: *Future Flex* configuración 8 x 1 [22]

Por otro lado, el microducto directo de HDPE será seleccionado cuando solo se necesite desplegar una fibra, proporcionando una solución eficiente para segmentos específicos de la red. Mientras tanto, el *Future Path* se empleará para despliegues de varias fibras, en configuraciones que podrían variar, como por ejemplo 4 x 1, pero siempre organizados verticalmente en una sola columna para maximizar la eficiencia del espacio y facilitar futuras expansiones o mantenimientos. Esta diversidad en la elección de ductos no solo es coherente con las recomendaciones ITU-T L.155, sino que también optimiza la integración de la infraestructura de telecomunicaciones con el respeto al patrimonio cultural y la estética del CHC, permitiendo una adecuada adaptación a las variaciones geográficas y a las restricciones patrimoniales que podrían limitar opciones más invasivas.

4.4.4. Cámaras

La norma ITU-T L.155 se concentra en los estándares relacionados con el despliegue de fibra óptica, aunque no aborda de manera exhaustiva la instalación de nuevas cámaras, limitándose a ofrecer recomendaciones sobre cómo acceder a cámaras ya existentes siguiendo métodos convencionales. Para un despliegue efectivo en áreas delicadas como el CHC, la instalación de estas cámaras debe realizarse con especial cuidado, mediante una planificación meticulosa y un estudio detallado. Esto se debe a que, por su propia naturaleza estructural, estas cámaras tienden a ser de mayor tamaño en comparación con las profundidades y anchuras requeridas para la construcción de microcanalizaciones.

Conforme a la normativa EC 040, analizada en el contexto regulatorio del capítulo 3, en Perú se contemplan exclusivamente cámaras que requieren ser construidas como obra civil, sin referencia alguna a cámaras prefabricadas. Por lo que las cámaras prefabricadas de concreto se producen siguiendo estos mismos estándares, resultando en unidades considerablemente pesadas y de complicada instalación.

En esta sección, se procederá a realizar un análisis comparativo que contemplará las cámaras construidas *in situ*, las cámaras prefabricadas de concreto, y las cámaras HDPE o *Bulk*. El propósito de este estudio es determinar la alternativa más viable que minimice el impacto sobre las zonas patrimoniales [49], [106] y [107].

Tabla 4.18: Cuadro comparativo cámaras subterráneas

Criterios selección de cámara			
Características	Cámara fabricada	Cámara prefabricada de concreto	Cámara HDPE
Marco regulatorio	Conforme a la normativa EC.040	Conforme a la normativa EC.040	Conforme a los estándares internacionales ANSI, EN y ITU-T
Tipo de uso	Distribución, empalme, acometida	Distribución, empalme, acometida	Distribución, empalme, acometida.
Material	Concreto	Concreto	Polietileno de alta densidad (HDPE)
Resistencia a la carga	Capacidad de 20 a 40 toneladas, utilizando fuego fundido para el límite superior.	De 20 toneladas	Desde 15 toneladas hasta 25 toneladas.
Detalles de la Tapa	Tapas de concreto armado para cargas elevadas, con variantes en fierro fundido para mayor durabilidad.	Similares a cámaras hechas en obra, diseñados para manejar cargas sustanciales.	Tapa de polímero reforzado o hierro dúctiles, intercambiables, adecuados para diferentes necesidades de carga.
Dimensiones	-Tipo 1: 96 x 56 x 70 cm. -Tipo 2: 100 x 80 x 100 cm. -Tipo 3: 150 x 100 x 100 cm.	-Tipo 1: 96 x 56 x 70 cm. -Tipo 2: 100 x 80 x 100 cm. -Tipo 3: 150 x 100 x 100 cm.	Dimensiones desde: - Bulk0: 30 x 30 x 30-60 cm. Hasta: -Bulk8: 165 x 107 x 60-120 cm.
Peso	Varía según el grosor de la pared de concreto y las dimensiones especificadas. El peso puede determinarse a partir de la densidad del concreto y las dimensiones totales, especialmente si la cámara está construida <i>in situ</i> .	Dependiendo del grosor de las placas de concreto, suelen ser considerablemente pesadas, aproximadamente una tonelada. Esto varía según la fabricación específica.	Desde 8,6 kg (<i>Bulk 0</i>) Hasta 193 kg (<i>Bulk 8</i>)
Instalación	complejo; necesita construcción en el área, uso de maquinaria pesada y mano de obra intensiva. Involucra obra civil.	Menos complejos que la obra civil, pero requiere manejo con maquinaria pesada, incluyendo grúa.	Rápida y sencilla; no requiere equipo pesado.
Costo	Alto, influenciado por los costos de material y mano de obra.	Intermedio; mano de obra menor, pero incluye costos logísticos adicionales por peso y transporte.	Bajo, debido a un menor uso de recursos humanos y materiales.
Impacto visual y estructural	Alto, construcciones permanentes y notarias, requiere permisos y cierre completo de vías.	Medio, menos impacto una vez instaladas.	Bajo, menos intrusivo y adaptable a entornos como el CHC.

Para el despliegue de redes ópticas, las cámaras prefabricadas *Bulk* ofrecen ventajas substanciales sobre las cámaras de concreto convencionales. Su diseño práctico permite una instalación rápida y eficiente, fundamental en proyectos con limitaciones temporales (anexo F). La ligereza de estas cámaras reduce la dependencia de maquinaria pesada, disminuyendo así los costos de mano de obra y facilitando la logística. Además, destacan por su resistencia a cargas significativas y su disponibilidad para uso inmediato post-instalación, optimizando la operación y el mantenimiento de infraestructuras de telecomunicaciones.



Figura 4.11: Soplado de fibra en cámara instalada [23]

Resulta crucial la flexibilidad en la configuración de profundidades de las cámaras *Bulk*, lo cual, las hace particularmente adecuadas para su implementación en el CHC, donde es fundamental minimizar el impacto en el patrimonio soterrado aún no identificado, ya que algunas investigaciones sugieren el rastreo de muros incas a partir de 0.5 m y 0.8 m [19].

Esta característica permite ajustar la instalación a las condiciones específicas del sitio, preservando la integridad de estructuras patrimoniales ocultas y ofreciendo una solución respetuosa y adaptable para la modernización de la infraestructura sin comprometer el valor histórico del entorno.

4.5. Síntesis de resultados del capítulo

En este capítulo, se ha realizado una minuciosa evaluación y selección de los componentes esenciales para la implementación efectiva de una red óptica subterránea. La tabla a continuación condensa nuestras decisiones sobre el método más adecuado para el despliegue de redes ópticas en el CHC, así como su compatibilidad con el tipo de fibra óptica, cámaras, ductos y configuraciones. Cada componente ha sido escogido por su capacidad de integrarse de manera eficiente en base a los lineamientos esenciales (capítulo 3).

Tabla 4.19: Síntesis del capítulo

Categoría	Selección	Descripción
Método de despliegue	ITU-T L.155	<i>Técnica de excavación de zanjas de bajo impacto para redes FTTx.</i>
Fibra óptica	Microcable	Modelo MiniXtend Ultra de Corning SMF-28, fibra de alta densidad.
Ductos	Microducto HDPE	Disponible en distintas presentaciones.
Configuración de ductos	1xn	Configuración en una sola columna con la capacidad de expandirse en Múltiples filas según sea necesario.
Cámaras	Cámara tipo BULK	Disponible en distintas presentaciones.

Capítulo 5

Diseño de la red óptica

Este capítulo consolida y amplía los hallazgos de investigaciones anteriores mediante un diseño que parte de un marco regulatorio analizado en el capítulo 3. Basándonos en las configuraciones y métodos de despliegue óptimos determinados en el capítulo 4 para la instalación subterránea, este capítulo se enfoca en las configuraciones físicas y geográficas de la red de alimentación y distribución, así como en los parámetros mínimos aceptables de los equipos utilizados en el CHC.

Detallaremos cómo las decisiones de diseño, alineadas con los principios regulatorios y las mejores prácticas de ingeniería, se materializarán efectivamente en la instalación dentro del CHC. Este trabajo demuestra que es posible un despliegue tecnológico que conviva armoniosamente con la salvaguarda del patrimonio, lo que concretiza la esencia del proyecto: integrar tecnología avanzada respetando el valor histórico del entorno.

5.1. Consideraciones iniciales

- Este capítulo se enfoca en la topología y ubicación de la infraestructura de la red óptica dentro del contexto urbano y público del CHC.
- La red se despliega específicamente en el sector AE-1, identificado en los alcances del capítulo 1. La cobertura y el replanteo en este sector se planificó basándose en criterios técnicos que consideran la configuración urbanística, sin requerir estudios adicionales de demanda. Esta decisión estratégica garantiza que la infraestructura pueda servir eficazmente a cada lote y manzana, aproximadamente 2 421 puntos; apoyándose en directrices del plan maestro del CHC y el plano catastral oficial y actualizado, proporcionado por la MPC [3] Y [24].
- El despliegue centra su atención al tendido de ductos y cámaras; con respecto a los ductos, la adopción de una configuración variable en una sola columna. Este diseño, validado por estudios en el capítulo 4, ofrece una solución flexible y sostenible para el crecimiento de la red. Con respecto a las cámaras, la especificación de cámaras *Bulk* de 30 cm de altura principalmente en su red de distribución se basa en directrices reguladoras locales y consideraciones de impacto mínimo visual y físico. La elección del tipo de cámara varía según la zona de instalación para adaptarse a diferentes condiciones de suelo y requerimientos estéticos, como recomienda el plan maestro[3].
- El diseño en su red principal propone el despliegue de un cable de 140 hilos para maximizar la compatibilidad con diversas tecnologías, rangos aceptables de *fill ratio* y el cumplimiento con el enfoque integral de servicios que permite la implementación de múltiples servicios sobre una única infraestructura como recomienda el plan maestro.
- El diseño de la red óptica ofrece la flexibilidad necesaria para integrar o expandir la infraestructura existente, posibilitando ajustes específicos según los servicios que demanden las unidades de red óptica. El diseño, que finaliza en las cajas de distribución, no interfiere con las unidades existentes de redes ópticas. Es relevante resaltar que la ubicación de nuestra OLT propuesta se presenta únicamente como un ejemplo para su implementación, y no como una instrucción precisa. Esta precisión es fundamental, dada la naturaleza normativa de esta tesis.

- Cada aspecto del diseño y despliegue se rige estrictamente por el marco regulatorio, que incluye normativas específicas para la conservación del patrimonio y regulaciones técnicas de telecomunicaciones. Este enfoque asegura que todas las actividades estén en plena conformidad, como se discute en todas las directrices del capítulo 3. Además resalta la importancia de un plan de monitoreo arqueológico para su despliegue efectivo, conforme lo estipula el plan maestro del CHC[3].

5.2. Zona de interés

El área AE-I del CHC, con una extensión de aproximadamente 1.5 kilómetros cuadrados, alberga 8 085 viviendas. Este número representa el 40% del total de viviendas contabilizadas en el CHC, que asciende a 20 071. La densidad y significancia de este sector subrayan la necesidad crítica de una cobertura completa de fibra óptica para mejorar la provisión de servicios de telecomunicaciones, adaptándose a diversas necesidades futuras. Los detalles específicos y las coordenadas de cada punto de referencia delimitante son presentados en la sección de alcances, propuestos en el capítulo 1 de esta tesis, específicamente la figura 1.1. Esta documentación es crucial para cumplir con los marcos regulatorios de las zonas monumentales y establece una base sólida para la organización del espacio [3].

Esta estructuración del espacio se refleja en la división del CHC en nueve sectores está orientada a facilitar la comprensión y el análisis de la zona. Estos sectores se definen por sus características históricas y organizativas:

- SG-1 corresponde al núcleo del CHC
- SG-2 abarca el barrio de San Cristóbal
- SG-3 incluye Santo Domingo, San Agustín y Limacpampa
- SG-4 se refiere al barrio de San Blas
- SG-5 al barrio de Santa Ana
- SG-6 al barrio de San Pedro

- SG-7 comprende Pumaqchupan, Av. Pardo y Tres Cruces
- SG-8 incluye Almudena y Santiago
- SG-9 a Totoraphaqcha, Mesa Redonda y Teteqaqa

Esta organización permite una descripción detallada y facilita el entendimiento de las diversas áreas dentro del histórico centro.

La figura a continuación muestra el mapa de sectorización del CHC, detallando los nueve sectores para una mejor comprensión visual de las áreas descritas.

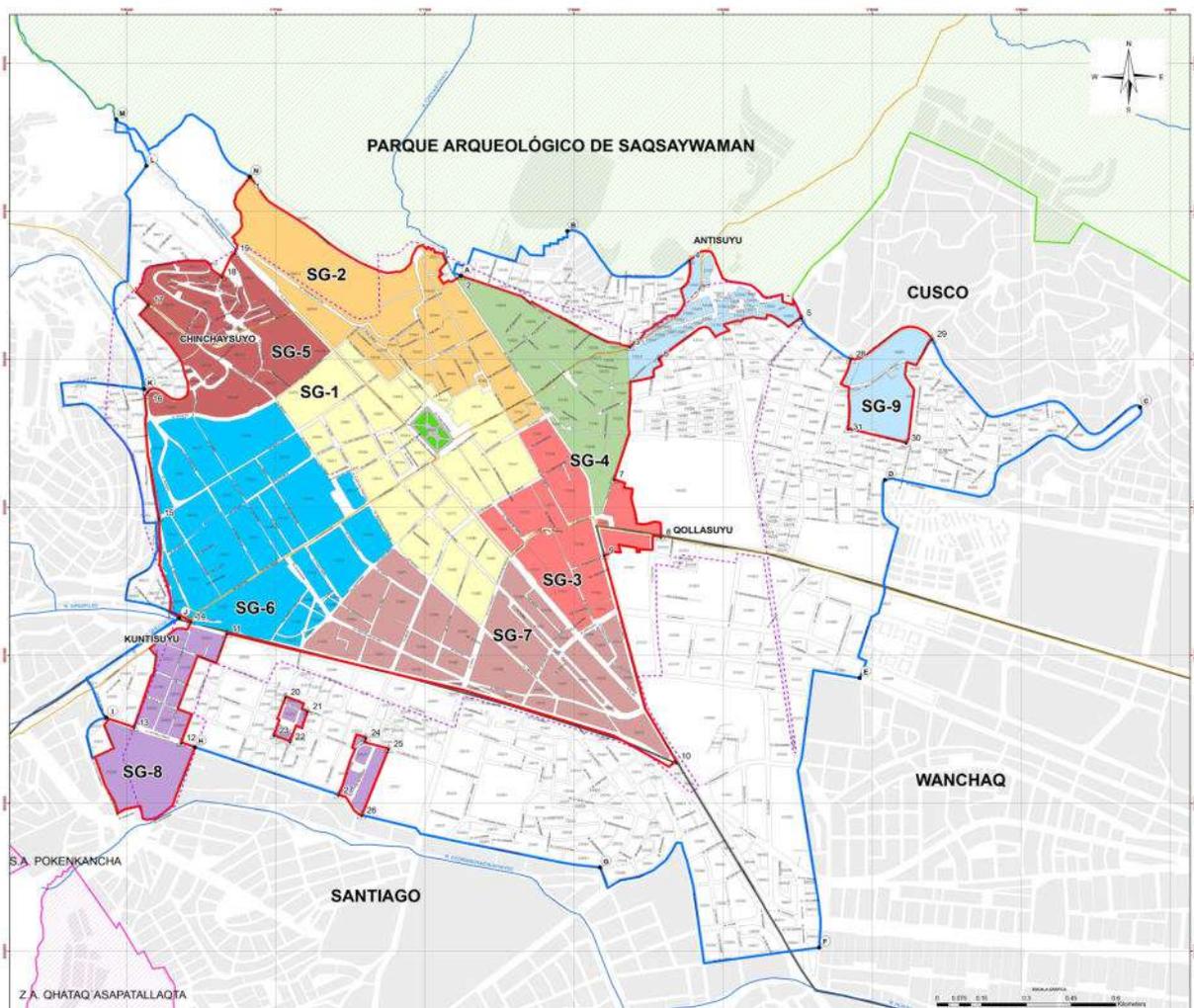


Figura 5.1: Sectorización para la gestión del CHC [3]

Todo el área AE-I es delineada por fronteras geográficas distintivas que son esenciales para la planificación del despliegue de redes ópticas. Al norte, AE-I limita con la frontera del parque arqueológico de Saqsaywaman, el APV San Blas y la vía de Circunvalación, mientras que al sur se encuentra delimitada por la Av. del Ejército, el barrio de La Almudena y el borde lateral del cementerio de La Almudena. Hacia el este, sus límites se extienden hasta la calle Qollacalle y el margen oeste de la cervecería, abarcando áreas tanto en el distrito de Cusco como en Av. Tullumayu del distrito de Wanchaq. Por el lado oeste, AE-I está definido por la calle Malampata en el distrito de Santiago y continúa hasta las calles *Ayawayq'o* y Jerusalén en el barrio de Santa Ana.

Sin embargo, algunos espacios presentes en los sectores SG-8 y SG-9, considerados como aislados, plantean desafíos particulares para el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones. En el contexto del despliegue de redes de fibra óptica en el **CHC**, aunque técnicamente factible, la inclusión de sectores aislados dentro del área AE-I en la etapa inicial podría interpretarse como instalaciones aisladas y no integradas. Este enfoque podría percibirse como contradictorio con el objetivo principal de la tesis, que es proponer un despliegue de bajo impacto que se integre armónicamente con el patrimonio cultural y la estructura existente del entorno urbano. Por lo tanto, si bien la infraestructura técnica permite extender la fibra óptica a estos sectores aislados, la propuesta inicial opta por no incluirlos de manera directa. En lugar de esto, se sugiere considerar la incorporación de estos sectores en futuras ampliaciones de la red o en el tratamiento detallado del sector AE-II. Esta decisión estratégica permite concentrar recursos y esfuerzos en las áreas donde el impacto y los beneficios del despliegue pueden maximizarse de manera más efectiva y sostenible, al tiempo que se mantiene abierta la posibilidad de expandir la cobertura de manera más extensiva en el futuro, asegurando que todo desarrollo se alinee con los principios de respeto y conservación del patrimonio histórico. La revisión de la documentación cartográfica oficial ha identificado la utilización de una división en macromanzanas como método óptimo para la planificación de la red en el **CHC** así como la limitación de la zona monumental dentro del sector AE-I. Esta división es preferible porque agrupa las manzanas y viviendas de manera eficiente, omitiendo áreas aisladas que no contribuyen a la cohesión del despliegue de la red. Este enfoque se alinea con los principios de despliegue de bajo impacto, fundamentales para estas zonas.

En las siguientes figuras, se muestra el mapa de macromanizas utilizado para la planificación del despliegue de redes en el CHC así como el plano catastral oficial para el presente año proporcionado por la subgerencia de ordenamiento territorial de la MPC en el marco de la ley 27 806, ley de transparencia y acceso a la información (anexos J y K). Estos mapas clarifica la exclusión de los sectores aislados y refleja cómo la planificación está alineada con los principios de despliegue de bajo impacto de la tesis.

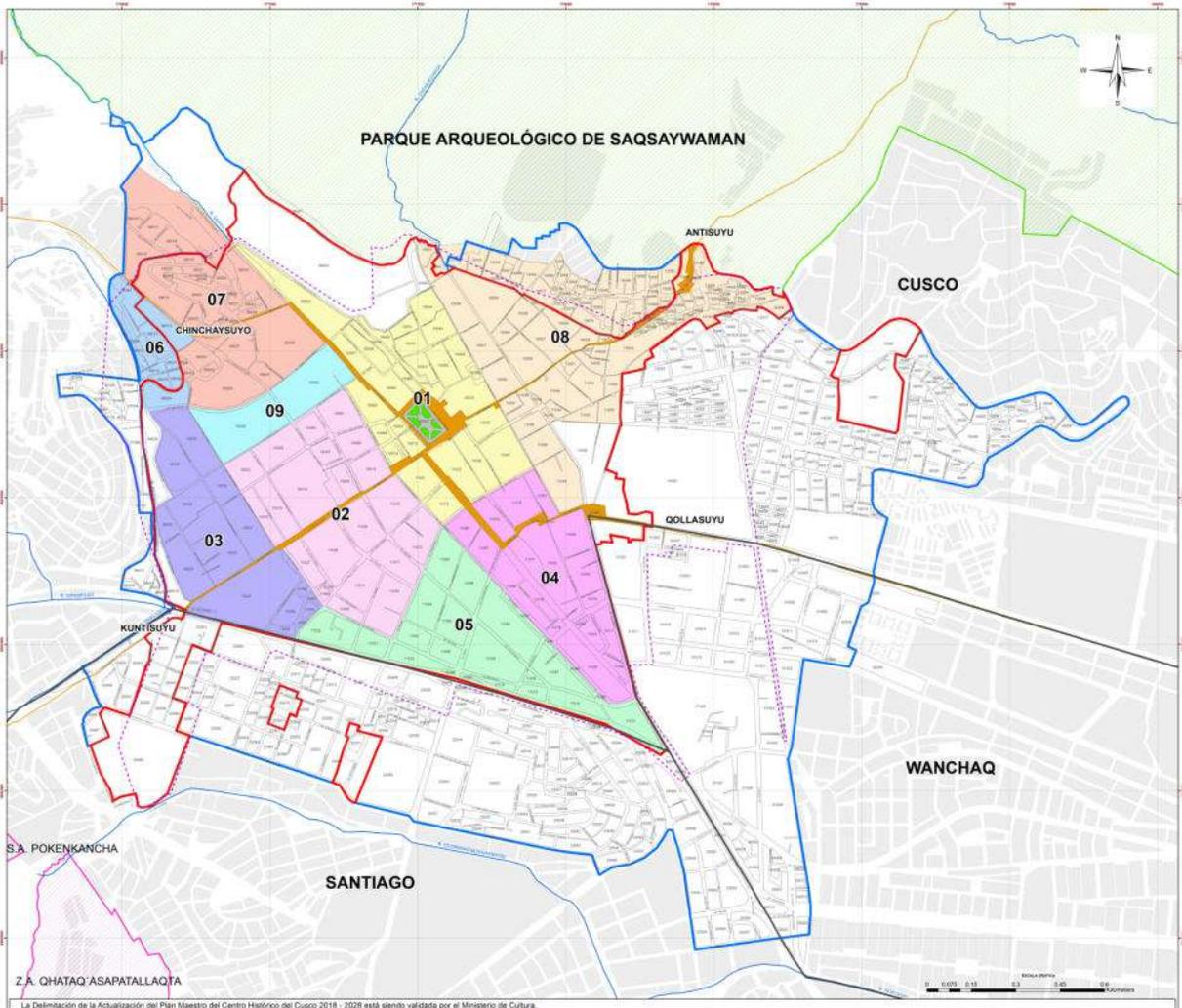


Figura 5.2: Plano de macromanizas del CHC [3]



Figura 5.3: Plano catastral CHC [24]

Por estas razones, se propone que los sectores aislados en SG-8 y SG-9 se consideren para integración futura en la red cuando se expanda la infraestructura en el sector AE-II. Mientras tanto, el enfoque se centrará en el despliegue dentro del sector AE-I, utilizando el mapa de macromanzanas. Esta decisión asegura una cobertura eficiente y sostenible en las áreas más accesibles y con mayor densidad de población.

5.3. Diseño de la red principal

5.3.1. Implementación de la OLT

En las etapas iniciales de este proyecto, y considerando las regulaciones pertinentes, la ubicación de la OLT se presenta no como un requisito fijo, sino como una sugerencia flexible. Esto permite a los operadores de la red ajustar su acceso al sistema de fibra óptica del CHC según sus necesidades específicas. Aunque la posición de la OLT es flexible, es recomendable considerar su conexión en puntos estratégicos de la red troncal, preferiblemente en el sector occidental para minimizar los riesgos sobre el patrimonio cultural. Las especificaciones técnicas de la OLT deben ser adecuadas para manejar las 7 subredes planteadas. Dada la flexibilidad del proyecto en cuanto a la tecnología a implementar, se favorece el uso de soluciones de vanguardia con miras a ciudades inteligentes. Los proveedores pueden elegir las especificaciones de su hardware, basándose en la capacidad que planean implementar. En nuestra propuesta con el objetivo de cubrir aproximadamente 2 421 puntos de conexión antes de la red de dispersión, como se vio en la sección de consideraciones iniciales del presente capítulo; proponemos utilizar OLTs con capacidad de escalabilidad puesto que en el diseño presentado, cada puerto podría soportar hasta 64 usuarios, lo cual es un promedio aceptable para ratios de división que varían de 32 a 128 usuarios. Para este proyecto, una OLT de 32 puertos sería suficiente considerando un ratio de división de 1:64, pero estaría operando a su máxima capacidad. Anticipando un aumento en la demanda de usuarios, sería prudente optar por una OLT escalable. Algunos modelos permiten la adición de más puertos PON o soportan ratios de división más altos, lo cual es esencial para mantener una alta calidad de servicio y manejar eficientemente el tráfico de datos. Fabricantes reconocidos como Huawei, Nokia y ZTE ofrecen OLTs que se pueden escalar fácilmente. Por ejemplo:

- Huawei MA5800: Admite hasta 16 puertos por tarjeta y puede configurarse con múltiples tarjetas en un chasis (anexo G).
- Nokia 7360 ISAM FX: Permite configuraciones de alta densidad y puede expandirse con más tarjetas según las necesidades de crecimiento (anexo H).

- ZTE serie C300/C320/C600: También son escalables y pueden soportar un gran número de usuarios con la adición de tarjetas (anexo I).

La OLT se ubicará en el inicio de la Av. del Ejército, seleccionado por su accesibilidad y bajo riesgo de impacto al patrimonio cultural en cuanto a la introducción al centro de operaciones de la fibra óptica se refiere. Esta posición facilita el despliegue subterráneo de la red troncal y la construcción de canalizaciones. Cerca de la OLT, se instalará un punto de empalme crucial para la gestión eficiente de la fibra óptica, optimizando así la integración de la infraestructura y la eficacia del sistema de distribución.

5.3.2. Configuración de puntos de empalme para cobertura integral en el CHC

Para determinar la cantidad óptima de cajas de empalme necesarias, es fundamental analizar la cobertura que ofrece cada mufa. Nuestro diseño contempla la utilización de tres cajas de distribución por mufa, optimizando así la eficiencia de los recursos. Cada caja de distribución administrará cuatro líneas de fibra óptica, cada una con cuatro FATs, resultando en un total de 16 FATs por caja y 48 FATs por mufa.

En la propuesta, hemos seleccionado FATs con ocho salidas cada uno, sumando un total de 384 conexiones por mufa. Esta capacidad es crucial para expandir la cobertura en el CHC, donde los requerimientos iniciales, basados en la cantidad de lotes del plano catastral del área, ascienden a 2 421 conexiones. Este cálculo refleja el objetivo de lograr una cobertura total del territorio. Consecuentemente, se planea establecer siete puntos estratégicos para las cajas de empalme. En estos puntos a lo largo de toda la troncal, se llevará a cabo el proceso de desaislamiento de unidades unifilares, comúnmente referido como "sangrado de la fibra". Dado que cada mufa contará con tres cajas de distribución y cada una de estas manejará cuatro líneas de fibra óptica, el sangrado se realizará en 12 unidades unifilares por caja de empalme. Este meticuloso proceso garantiza la continuidad y eficacia en la transmisión de datos, crucial para mantener la integridad y el rendimiento óptimo de la red en una zona de tanto valor histórico y arquitectónico como el centro de CHC.

En aras de una organización efectiva para el mantenimiento futuro, cada tubo suelto o *buffer* se asignará a una subred secundaria. Según lo especificado en el capítulo 4 para la red troncal con un cable de 144 hilos, cada *buffer* contiene 12 hilos, lo cual se alinea con la capacidad de conexión de cada caja de empalme. A continuación, se presenta el esquema de los *buffers* y el número de hilos por fibra óptica.

Tabla 5.1: Distribución de unidades unifilares para la red óptica

Caja de empalme	Color asignado	Número de hilos	Asignación conexión		
			FO Mufa-caja de distribución		
			1° Cluster	2° Cluster	3° Cluster
Mufa 1	Azul	12	01P-04P	05P-08P	09P-12P
Mufa2	Naranja	12	13P-16P	17P-20P	21P-24P
Mufa 3	Verde	12	25P-29P	30P-33P	33P-36P
Mufa 4	Marron	12	37P-40P	41P-44P	45P-48P
Mufa 5	Gris	12	49P-53P	54P-57P	57P-60P
Mufa 6	Blanco	12	61P-64P	65P-68P	69P-72P
Mufa 7	Rojo	12	73P-76P	77P-80P	81P-84P

Esta estructura no solo asegura la independencia operativa de cada punto de conexión, sino que también ofrece una ventaja crítica; la escalabilidad de la red troncal. La red está diseñada para expandirse o adaptarse a diferentes tecnologías sin que las conexiones interfieran entre sí, preparándose así para futuras ampliaciones o actualizaciones tecnológicas.

El diseño utiliza 84 hilos de fibra óptica en total, con 4 hilos dedicados a cada caja de distribución, dentro de un cable troncal de 140 hilos. Esto representa aproximadamente el 58.33% del total de la capacidad del cable, dejando un margen considerable para la expansión futura o un aumento en la demanda de conexiones garantizando que tanto las necesidades actuales como futuras puedan ser atendidas de manera eficiente, manteniendo la calidad y la independencia del servicio en cada segmento de la red.

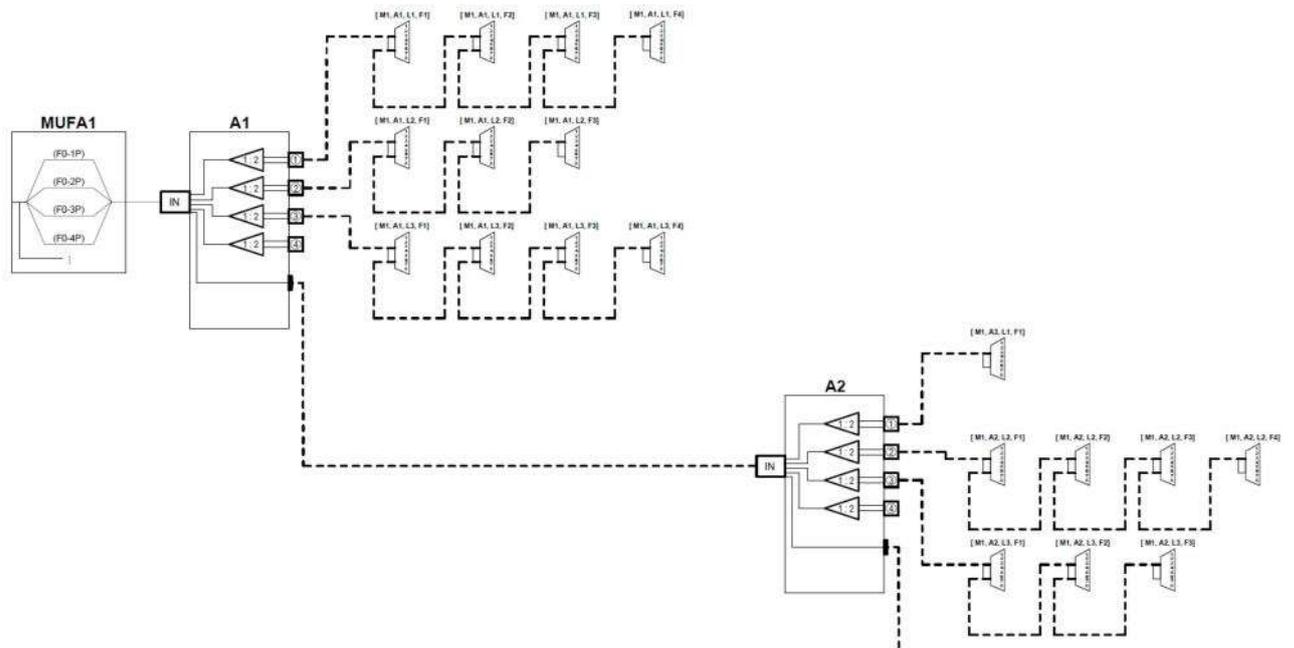


Figura 5.4: Ejemplo de distribución de unidades unifilares de la tabla 5.1 [3]

5.3.3. Topología de la red principal

La estructura de la red principal diseñada adopta una topología punto a multipunto que se origina en la OLT. La red troncal está configurada para abarcar la mayoría del área poblada, extendiéndose a lo largo de un trazado perimetral. Aunque este trazado no forma un bucle cerrado, dejando un segmento de aproximadamente 1 200 metros sin conectar, esta configuración estratégica permite la posibilidad de establecer una segunda ruta, facilitando la implementación de una red en anillo. Tal disposición aseguraría la redundancia y la continuidad del servicio, optimizando la robustez de la red frente a posibles fallos.

La planificación de la ruta para la red troncal de fibra óptica se llevó a cabo mediante el uso del mapa de intervención y priorización arqueológica. Dado que el despliegue es subterráneo y requiere la instalación de cámaras de gran tamaño y fibra óptica de alta capacidad, apta para diversos servicios y futuras expansiones, se seleccionó cuidadosamente la ruta para minimizar cualquier impacto en áreas de significativa importancia arqueológica. Concretamente, se evitaron las zonas de alta prioridad arqueológica, identificadas en el mapa en color rojo, se redujo al mínimo el despliegue en zonas de intervención arqueológica de nivel II, mostradas en color azul, y se maximizó la implementación en áreas consideradas de menor riesgo, como se describe en la figura 5.5.

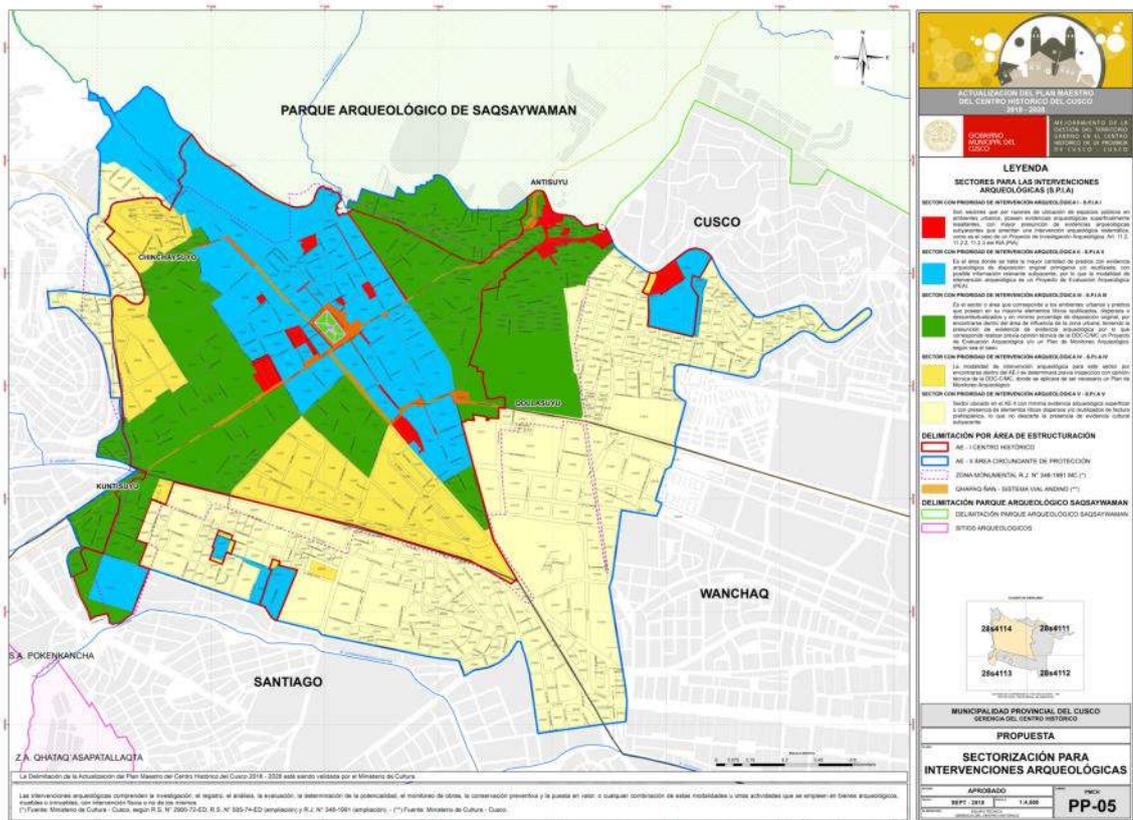


Figura 5.5: Plano intervenciones arqueológicas [3]

Con base en el análisis del mapa de intervención arqueológica, presentamos el plano de la red troncal de fibra óptica. Este diseño incorpora las directrices establecidas para minimizar impactos en zonas arqueológicas y optimizar la infraestructura, asegurando un despliegue técnico eficiente y respetuoso con el patrimonio cultural.

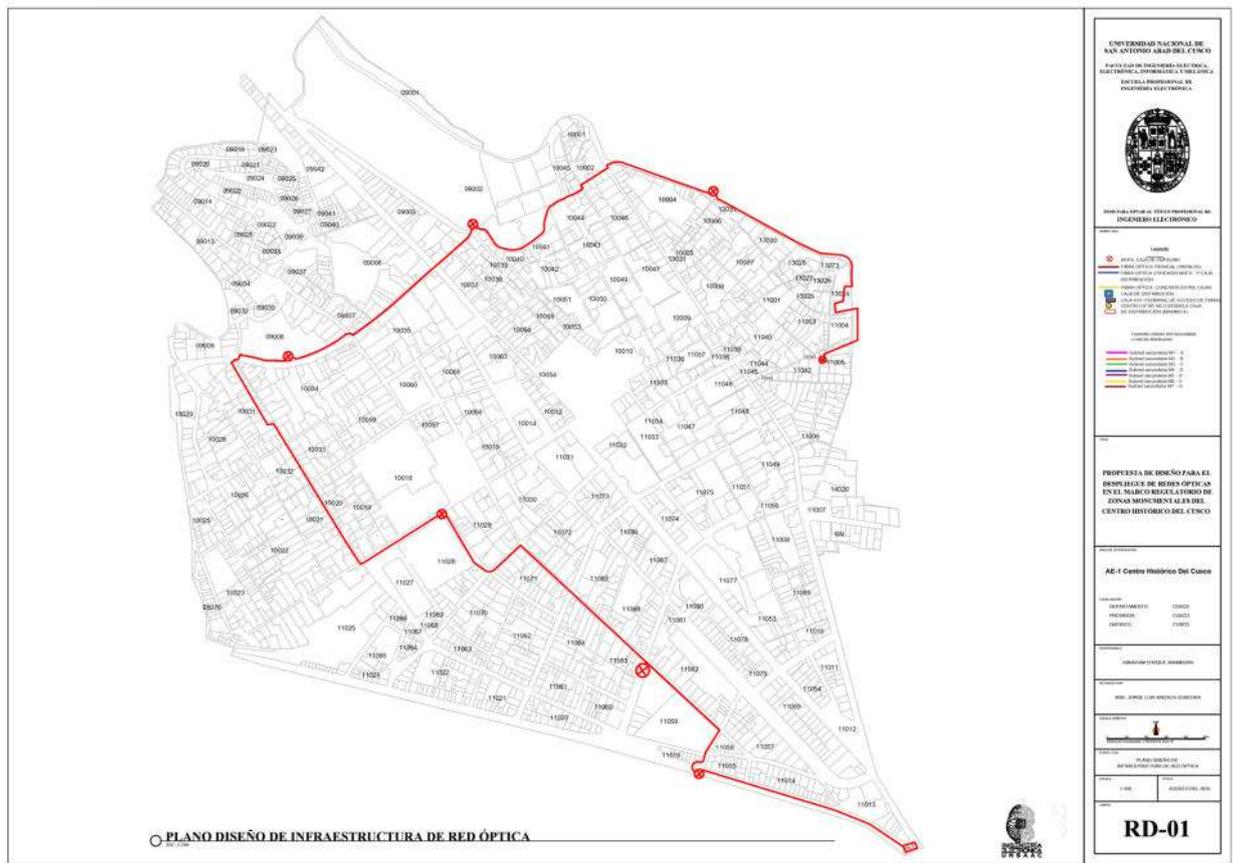


Figura 5.6: Diseño de la red troncal

5.3.4. Equipos para la red principal

Conforme se detalla en nuestra propuesta para la OLT, hemos delineado un marco operativo flexible para garantizar que la red implementada sea accesible y adecuada para todos los operadores y empresas de telecomunicaciones que buscan expandirse en las zonas patrimoniales del CHC. El requisito fundamental para la caja de empalme es su compatibilidad con el número de fibras en la red troncal; específicamente, debe acomodar en sus bandejas hasta 144 fusiones. Adicionalmente, las características mecánicas de la fibra óptica, abordadas previamente en el capítulo 4 de este trabajo de tesis, sentarán las bases para las implementaciones subsecuentes. Los detalles sobre la estructura de soporte se expondrán en secciones posteriores del documento.

5.4. Diseño de la red de distribución

En el marco del diseño de la red de distribución óptica, se analiza el segmento que abarca desde las conexiones en la mufa hasta las cajas de empalme, y desde éstas hasta las FATs. De acuerdo con la propuesta de diseño actual, se ha integrado un total de 21 cajas de distribución, dispuestas estratégicamente a lo largo de todo el sector en cuestión. Esta distribución cuidadosa asegura la evitación de zonas con alta priorización arqueológica, conforme se detalla en la figura 5.5 presentada anteriormente.

Cada caja de distribución se ha colocado en ubicaciones clave para maximizar la cobertura y mantener la intensidad de la señal dentro de los parámetros óptimos. Esto es crucial dado que el diseño propuesto establece un límite máximo de 300 metros entre cajas dentro de la misma subred para garantizar una gestión eficaz del presupuesto óptico. La configuración presentada asegura que ninguna caja de la misma subred excede este límite de distancia, optimizando así el rendimiento general de la red y asegurando la calidad del servicio en todas las áreas servidas.

En la estructura del diseño de la red troncal, se incorporaron 7 cajas de empalme que nos permitieron estructurar 7 subredes de distribución. Como se observó anteriormente, cada una de estas subredes opera de manera independiente respecto a las demás.

Con el objetivo de fomentar una organización efectiva y facilitar la identificación de las 7 subredes de distribución, también conocidas como *clusters*, se asignaron colores distintivos a cada una. Es crucial recalcar que la paleta de colores seleccionada para esta diferenciación no coincide con la utilizada en la distribución de *buffers* en las fusiones de las mufas, ya que estas últimas adhieren a un código de colores estandarizado. Los colores empleados para los *clusters* han sido elegidos específicamente para este propósito.

Además, se ha documentado meticulosamente el trayecto de las fibras ópticas que interconectan cada FAT y entre las mismas FATs. Este registro incluye calles, avenidas, pasajes, entre otros, con el objetivo de determinar con precisión el recorrido e impacto de nuestra red de distribución. La detallada relación de vías facilitará la rápida actualización de la catalogación, que es constantemente revisada por las entidades regulatorias.

Tabla 5.2: Detalle de implementación de FATs y cajas de distribución por ubicación y conectividad, parte 1

Caja empalme	Caja distribución	N° hilo	Caja terminal				Recorrido de cajas terminales Fats	
			FAT 1	FAT 2	FAT 3	FAT 4		
Mufa 1	A1	1°	I	I	I	I	Av. Del Ejercito, Av. Regional, Av. Del Ejercito	
		2°	I	I	I	NI	Av. Del Ejercito	
		3°	I	I	I	NI	C. San Miguel, Av. Regional	
	A2	1°	I	NI	NI	NI	C.San Miguel	
		2°	I	I	I	I	Av. Paseo de los heroes	
		3°	I	I	I	NI	Av. Garcilazo, Av. El sol	
	A3	1°	I	I	I	NI	Av. Tullumayo	
		2°	I	I	NI	NI	Pje. Pantipata, C. Awacpinta	
		3°	I	I	I	NI	Av. Garcilazo, Av. El Sol	
		4°	I	I	I	NI	Av. Garcilazo, Psje hermosa, Av. El Sol	
	Mufa 2	B1	1°	I	I	I	I	Av. Centenario
			2°	I	I	I	I	Av. Pardo, Psje. Chaski, Psje. Grace
3°			I	I	I	I	Av. Grau, Puente del Rosario, Av. El Sol	
4°			I	I	I	I	AV. Grau, C. San Andrés, C. Ayacucho	
B2		1°	I	I	I	I	C. Matará, C. Q'era, C. San Bernardo	
		2°	I	I	I	NI	C. Ayacucho, C. San Andres, C. Almagro	
		3°	I	I	I	NI	C. Matará, Av. Grau	
B3		1°	I	I	I	I	C. Tres Cruces De Oro, C. Pera, C. Teqte, C. Cruz Verde, C. Mesón de la Estrella	
		2°	I	I	NI	NI	C. Belén, C. Teqte	
		3°	I	I	I	I	C. Tres Cruces De Oro, Av. Grau, C. Pavitos	
Mufa 3		C1	1°	I	I	I	NI	C. Santa Clara, C. Unión
			2°	I	I	I	I	C. Santa Clara, C. Hospital
	3°		I	I	I	I	C. Santa Clara, C. Tupac Amaru, C. Callenuewa, C. Monjaspata	
	4°		I	I	I	I	C. Concevidayoq, C. Calle Nueva	
	C2	1°	I	I	I	NI	C. Nueva Baja, C. Desamparados	
		2°	I	I	I	NI	C. Arones, C. Siete Cuarto, C. Teatro	
		3°	I	I	I	I	C. Educandas, C. San Juan de Dios, C. Santa Teresa	
		4°	I	I	NI	NI	C. Tordo, C. Granada	
	C3	1°	I	I	I	I	C. Espaderos, C. Plateros, C. Saphy	
		2°	I	I	NI	NI	C. Del Medio	
		3°	I	I	NI	NI	Plaza Del Regocijo, C. Garcilazo	

Tabla 5.3: Detalle de implementación de FATs y cajas de distribución por ubicación y conectividad, parte 2

Caja empalme	Caja de distribución	N° hilo	Caja terminal				Recorrido de cajas terminales Fats
			FAT	FAT	FAT	FAT	
			1	2	3	4	
Mufa 4	D1	1°	I	I	I	NI	Av. Arcopata, C. Fierro
		2°	I	I	I	I	Av. Arcopata, Cuesta Santa Ana, Av. De La Raza, C. Carmenqa
		3°	I	I	I	NI	Av. Arcopata, C. Tambo De Montero
		4°	I	I	I	I	Av. Arcopata, C. Meloq, C. Nueva Alta
	D2	1°	I	I	I	I	C. Fierro, C. Nueva Alta, Av. Baja, C. Bayoneta, C. Qeswa
		2°	I	I	I	I	C. Fierro, C. San Vicente, C. Vitoque, Av. Baja
		3°	I	I	I	I	C. Fierro, C. Ceniza, C. Nueva Baja, C. Chaparro
	D3	1°	I	I	I	NI	Av. Alta, Av. Abancay
		2°	I	I	I	I	Av. Alta, Av. Arcopata, C. Concepción, C. Jerusalén, Av. De La Raza
		3°	I	I	I	I	Av. Alta, C. Nueva Alta
		4°	I	I	I	I	Av. Apurimaq, C. Nueva Alta, C. Qeswa
	Mufa 5	E1	1°	I	I	I	I
2°			I	I	I	NI	C. Amargura, C. Teqsecocha
3°			I	I	I	NI	C. Amargura, C. Qoricalle
4°			I	I	I	I	C. Suecia
E2		1°	I	I	I	NI	Av. Don Bosco (cruza Concepcion)
		2°	I	I	NI	NI	Av. Don Bosco (San Cristobal)
		3°	I	I	NI	NI	C. Arcoiris, C. Quiscapata, C. Resbalosa
		4°	I	I	NI	NI	C. Arcoiris, C. Ese
E3		1°	I	I	I	I	C. Purgatorio, C. Cordoba Del Tucumán, C. Ataúd
		2°	I	I	I	NI	C. Waynapata, C. Pumacurco, C. Siete Culebras
		3°	I	I	NI	NI	C. Huaynapata
Mufa 6	F1	1°	I	I	I	I	C. Tandapata, C. Siete Borreguitos, C. Pumacurco
		2°	I	I	NI	NI	C. Atoqsaykuchi
		3°	I	I	I	NI	C. Tandapata, C. Siete Angelitos, C. Carmen Alto
		4°	I	I	I	I	C. Siete Diablitos, C. Tandapata, C. Carmen Alto
	F2	1°	I	NI	NI	NI	C. Pasñapacana
		2°	I	I	NI	NI	C. Kiskapata
	F3	1°	I	I	I	NI	C. Kurkurpata, C. Ushpa, C. Suytuccato
		2°	I	I	I	I	C. Curcopata, C. Tandapata, C. Pumapaqcha, C. Collacalle, Plaza Limaqpampa Grande, Avenida Arcopunku
Mufa 7	G1	1°	I	I	NI	NI	C. Chihuampata, C. Alabado
		2°	I	I	I	I	C. Carmen Bajo, Plaza San Blas, Cuesta de San Blas
		3°	I	I	I	NI	C. Chihuampata, C. Pumapaqcha, C. Tandapata, Plaza San Blas
		4°	I	I	I	NI	C. Asnoqchutun, (C. Recoleta), C. Pantaqcalle
	G2	1°	I	I	NI	NI	C. Cabrakancha, C. Pampa De La Alianza
		2°	I	I	I	NI	Av. Tullumayo, C. Calcetas, C. Siete Ventanas, C. Huarancallqui
		3°	I	I	I	I	Av. Tullumayo, Plaza Limaqpampa Grande, Av. Tullumayo
	G3	1°	I	I	I	I	C. Maruri, C. Afligidos, Av. Mu'tuchaka (Av. El Sol)
		2°	I	I	I	I	C. Qapchicalle (C. Arequipa), C. Santa Catalina Ancha, C. Herrajes, C. Palacio
		3°	I	I	I	I	C. Maruri, C. San Agustin, C. Ruinas, Av. Tullumayo
		4°	I	I	NI	NI	C. Maruri, C. San Agustin, Plaza Limaqpampa Chico

Conforme se evidencia en las tablas adjuntas, la implementación de las cajas terminales FAT ha sido meticulosamente optimizada para garantizar una cobertura del 100% en todas las áreas designadas, aunque no siempre se haya requerido el uso de todas las cajas presupuestadas por línea. Este enfoque se fundamenta en un análisis detallado del sector, que han demostrado que la configuración actual es la más eficaz para satisfacer las necesidades de la red sin comprometer la posibilidad de futuras ampliaciones.

Cada caja FAT instalada está diseñada con la capacidad de expandirse a través de la incorporación de una caja adicional, ofreciendo así flexibilidad para adaptaciones futuras en línea con las exigencias de ciudades inteligentes y hiperconectadas. Este potencial de expansión se presenta como una característica estratégica preparada para apoyar múltiples aplicaciones y servicios avanzados, aunque no es el foco principal en el contexto actual de la evaluación. En la figura 5.8 se evidenciará cómo las configuraciones actuales proveen una cobertura óptima y cumplen con todos los requisitos necesarios, asegurando una infraestructura robusta y preparada para futuros desarrollos sin la necesidad de intervenciones inmediatas.

5.4.1. Topología de la red de distribución

5.4.1.1. Etapa inicial de conexión fundamental

En la etapa inicial del desarrollo de la red de distribución, se enfocó en establecer las conexiones fundamentales entre cada mufa y la primera caja de distribución. Este proceso crítico se diseñó siguiendo una topología en árbol, como se ilustra en la figura correspondiente. Este tipo de topología permite una gestión clara y jerárquica del flujo de señales, optimizando la transmisión desde la fuente hasta los múltiples puntos de terminación en la red.

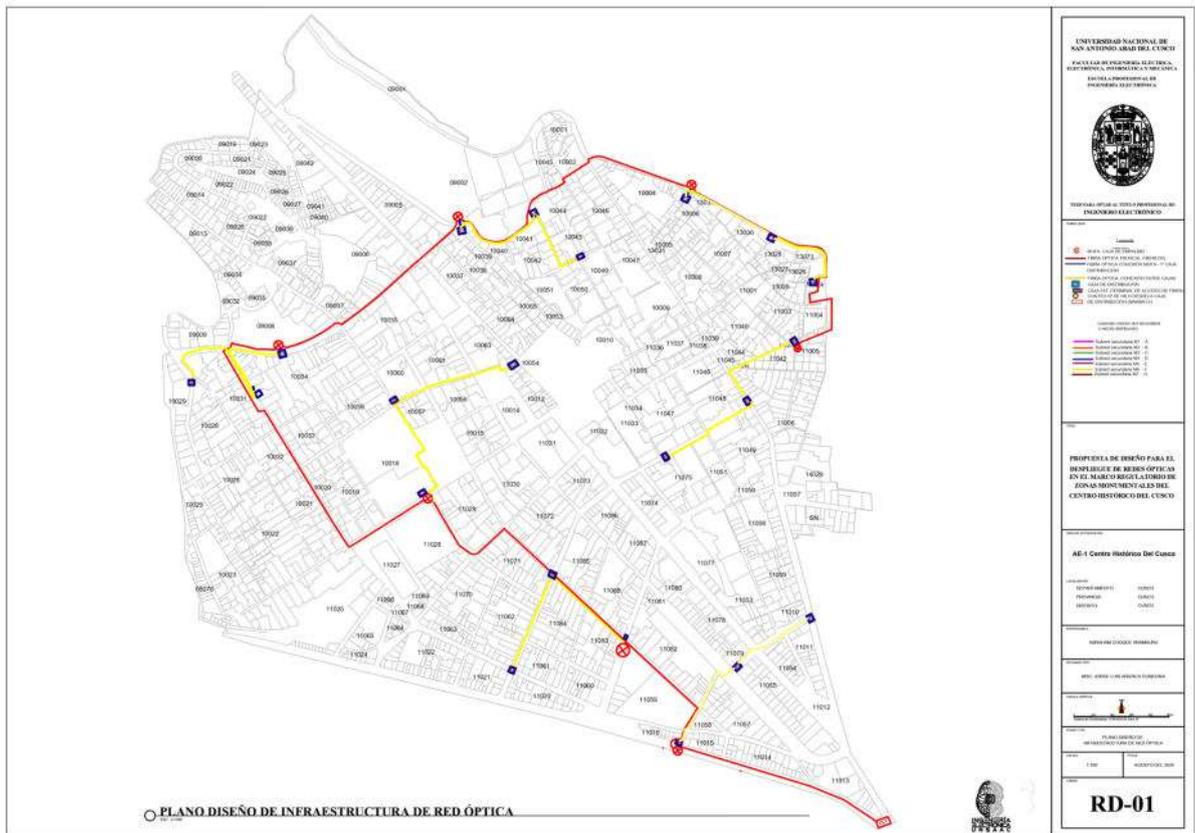


Figura 5.7: Plano de conexión inicial de la red de distribución, disposición de ubicación de cajas de distribución

5.4.1.2. Etapa final de optimización de cobertura y distribución

En la etapa final del despliegue de la red de fibra óptica, se ubicaron las FATs de manera meticulosa según los planos catastrales de la municipalidad, estableciendo una distancia máxima de 200 metros entre ellas para optimizar la distribución y potencia de la señal en toda el área de cobertura. La ubicación de cada FAT en el CHC fue determinada a través de estudios de campo y análisis de *software* satelital, asegurando una cobertura exhaustiva adaptada a la densidad poblacional y topografía específica de la zona.

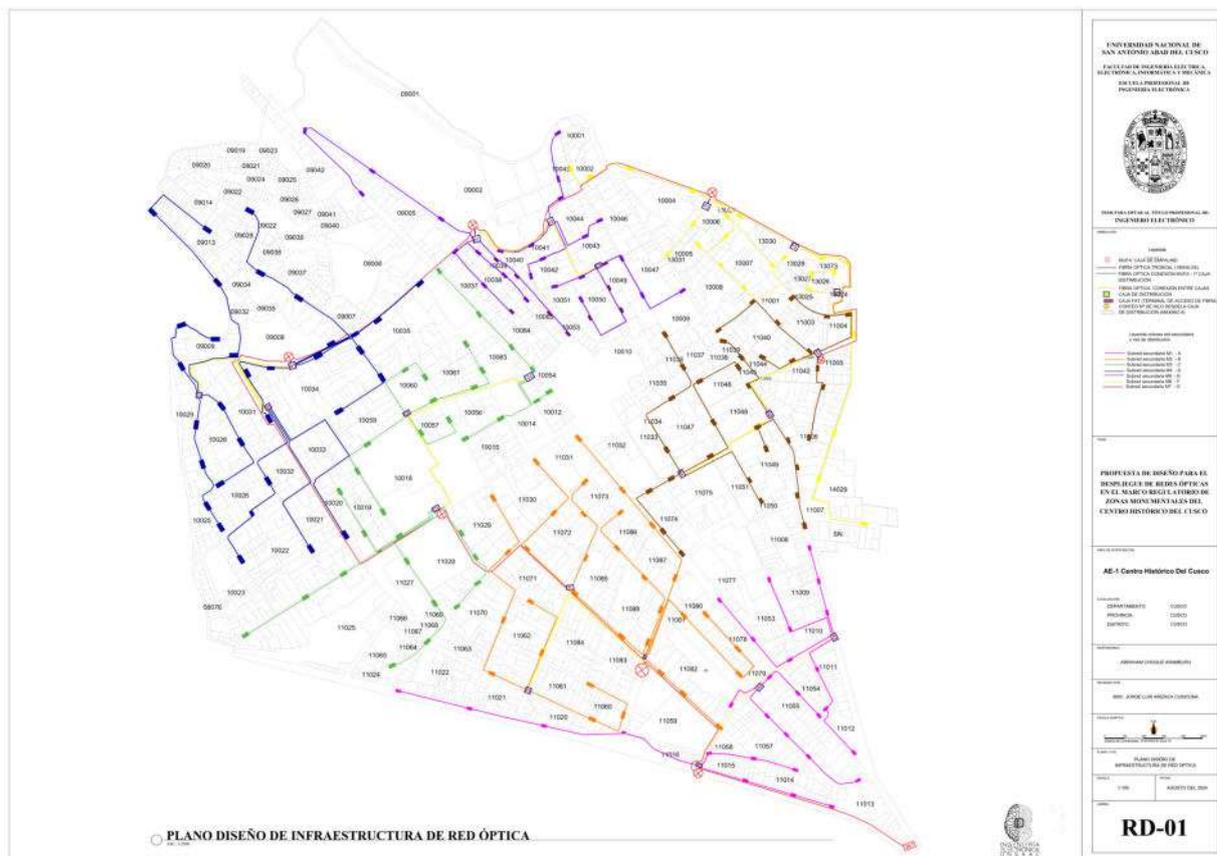


Figura 5.8: Plano de la red de distribución con cobertura y distribución optimizada

Como se detalla en el plano (ver anexo L), cada subred perteneciente a una mufa exclusiva esta conformada por un color diferente, lo cual se evidencia al tener una visión general de la red.

El plano muestra cada subred asociada a una mufa exclusiva, identificada por un color distinto, lo que ofrece una visión clara de la estructura de la red en el CHC. A continuación, se detalla el diseño de la red de fibra óptica, organizado de acuerdo con los requerimientos específicos de cada uno de los siete sectores gestionados.

Los planos subsiguientes ilustran la adaptación de la red a cada sector, tomando en cuenta tanto las restricciones arqueológicas como las necesidades de conectividad locales. Se presenta un enfoque específico para cada sector, diseñado para garantizar una cobertura completa mientras se protege el patrimonio cultural y arquitectónico de la ciudad.

Sector SG-1: Núcleo del CHC.- En el corazón del CHC, este sector representa el desafío más significativo debido a su alta probabilidad de contener restos arqueológicos, según el plano de priorización arqueológica. A pesar de estas restricciones, se ha logrado una cobertura total de la red sin afectar las áreas patrimoniales.

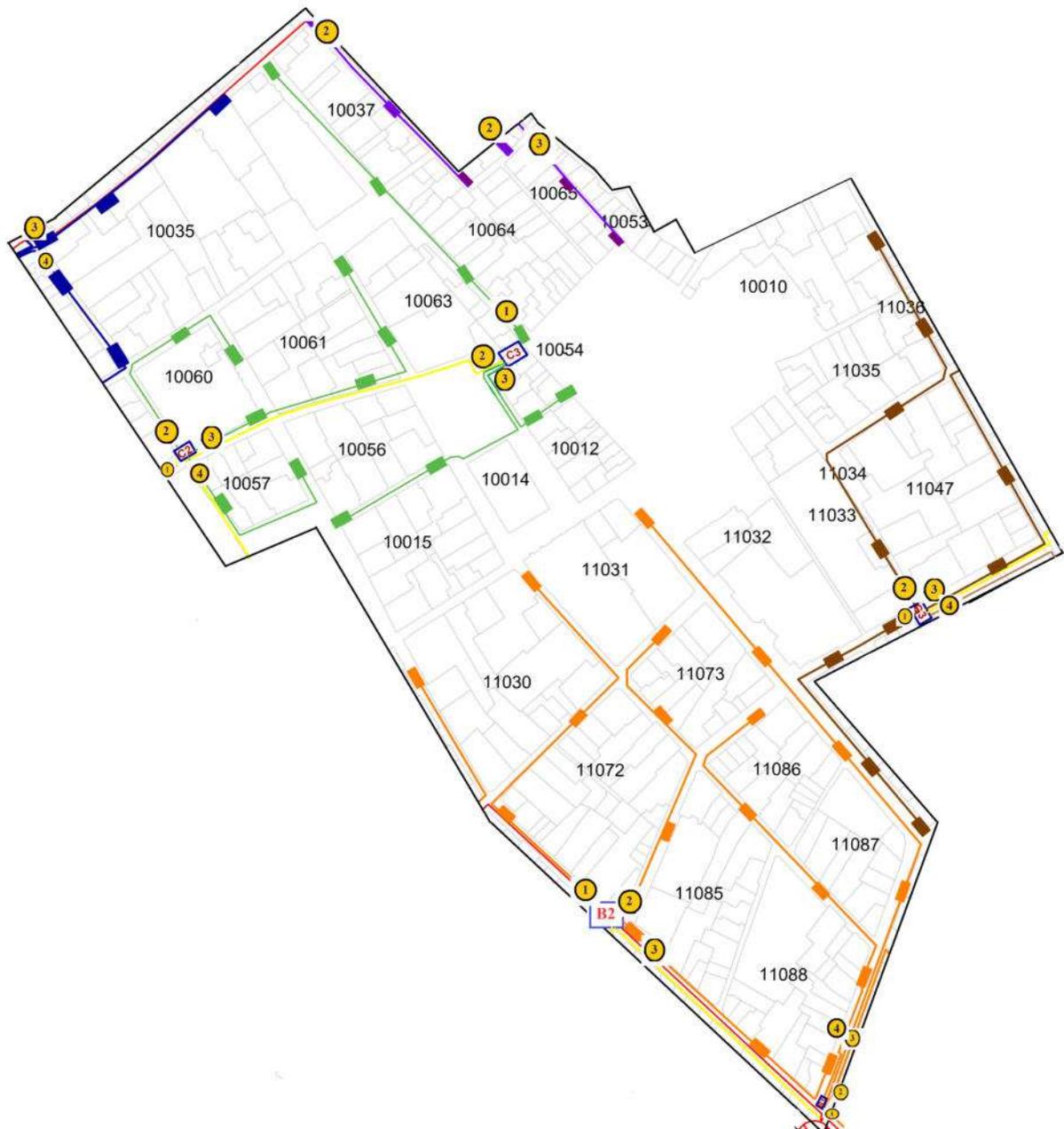


Figura 5.9: Diseño de la red sector SG-1

Sector SG-2: Barrio de San Cristóbal.- Caracterizado por sus estrechas calles, presentan desafíos únicos para el despliegue de la red. La estrategia ha sido evitar áreas de alta priorización arqueológica, como el templo de Manco Cápac y la avenida Pumacurco, dirigiendo el despliegue por zonas periféricas como el mirador de San Cristóbal y la calle Arcoiris.

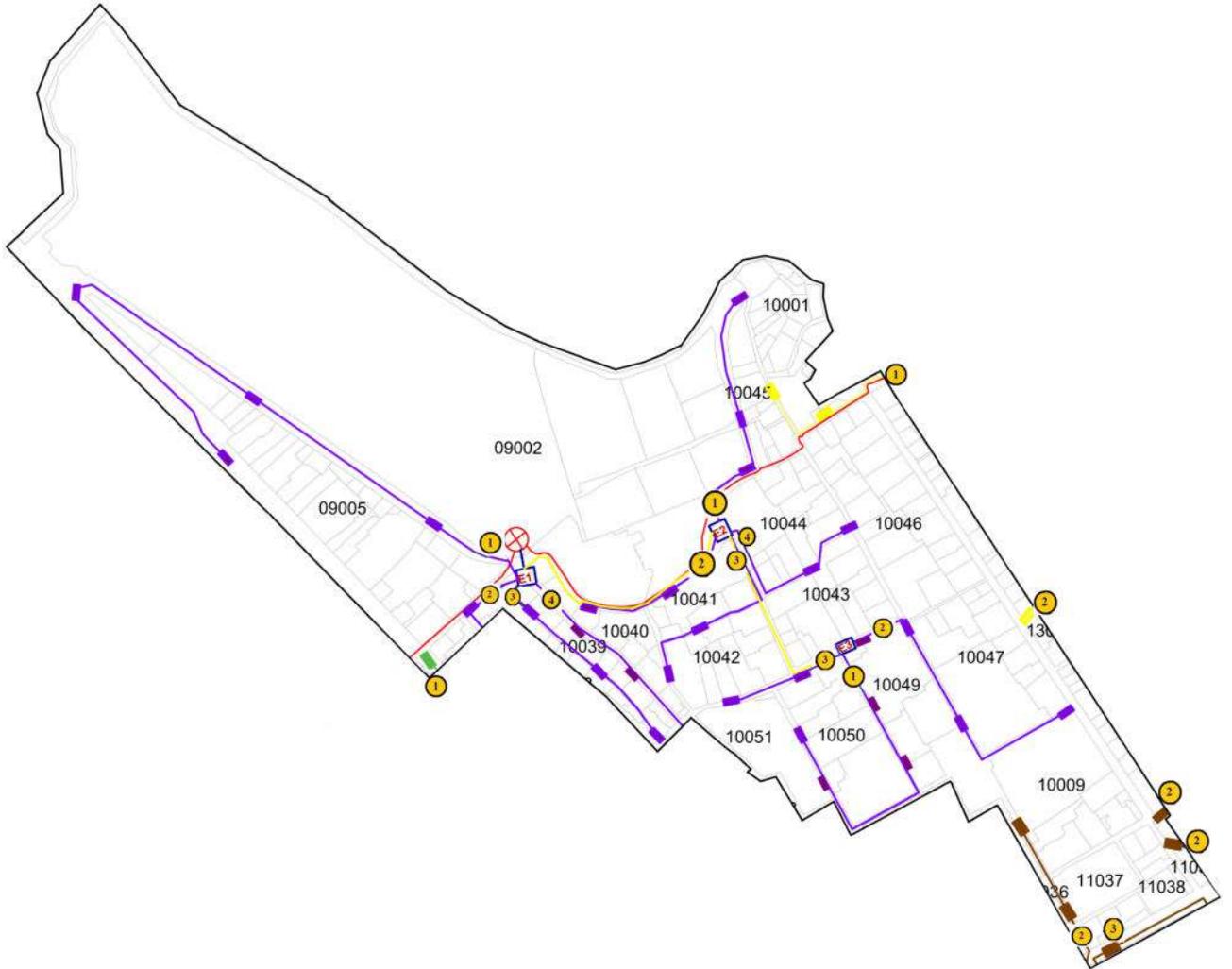


Figura 5.10: Diseño de la red sector SG-2

Sector SG-3: Santo Domingo - San Agustín.- El diseño de la red respeta las áreas arqueológicas prioritarias, como la calle Zetas, asegurando que el despliegue no afecte los vestigios históricos encontrados mientras mantiene una cobertura efectiva.

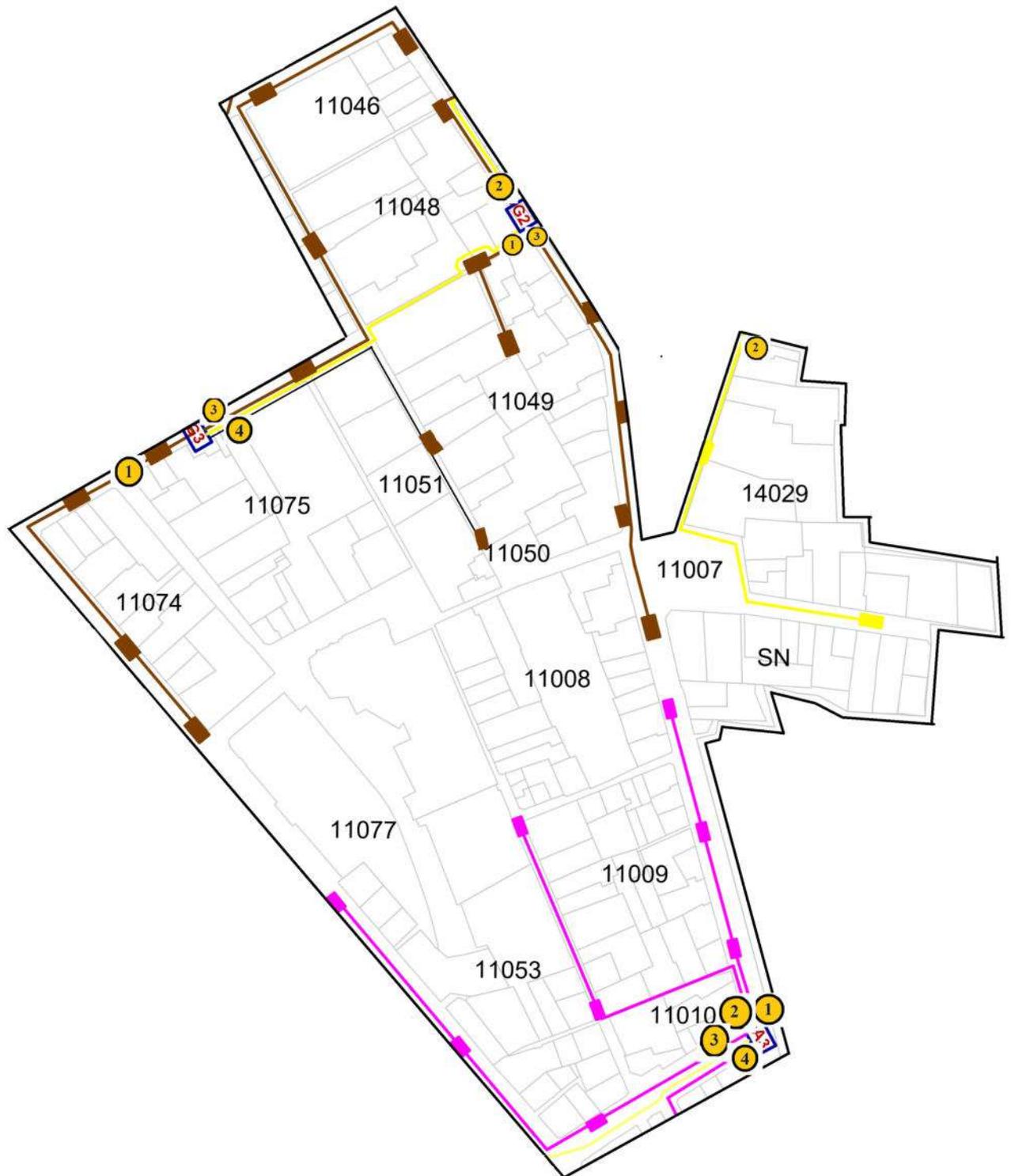


Figura 5.11: Diseño de la red sector SG-3

Sector SG-4: Barrio de San Blas.- El despliegue prioriza las avenidas principales y evita áreas de priorización arqueológica como la calle Choquechaca, preservando la cobertura.

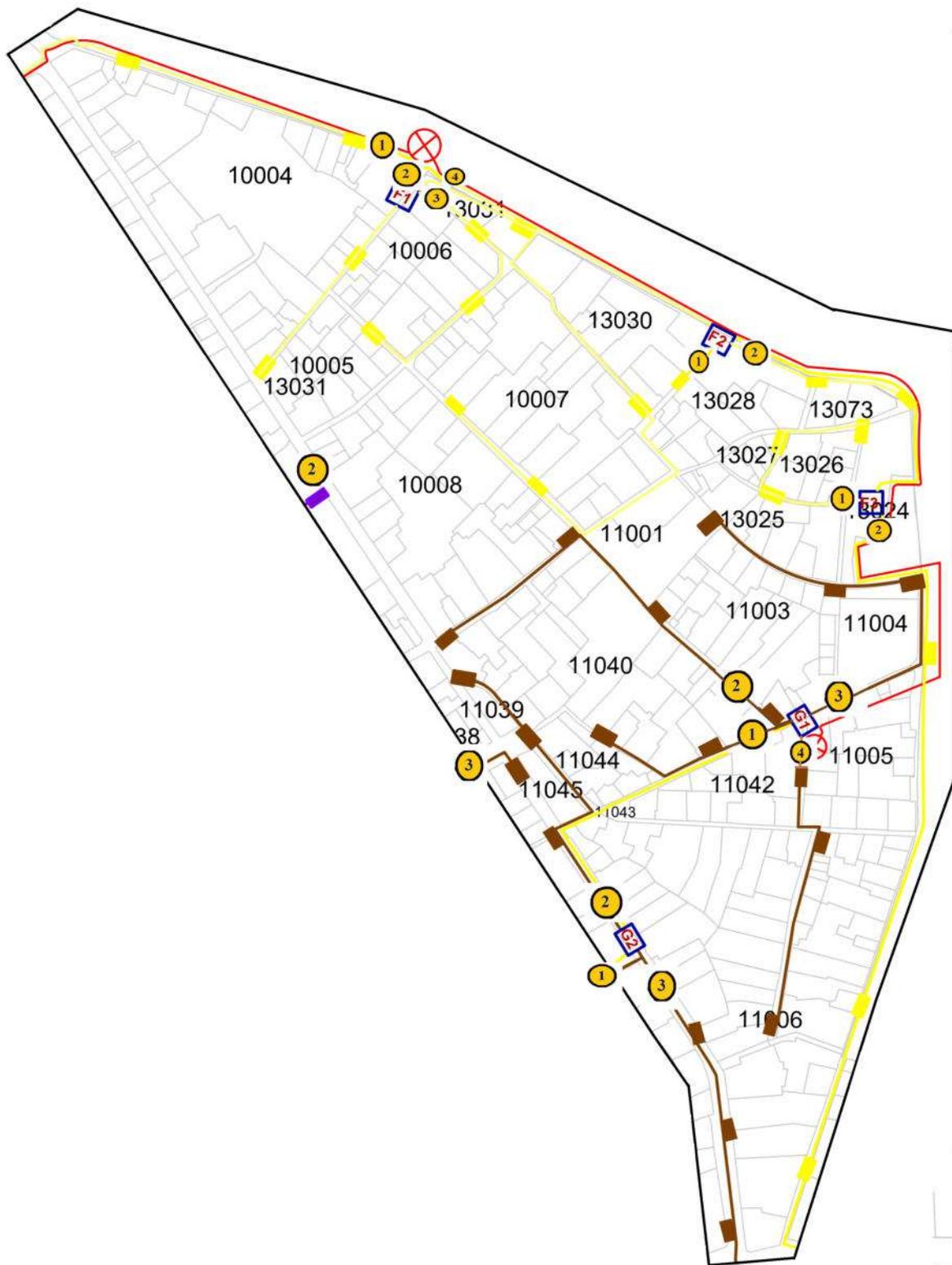


Figura 5.12: Diseño de la red sector SG-4

Sector SG-5: Barrio de Santa Ana.- El despliegue en Santa Ana se realiza sin impedimentos arqueológicos, optimizando la infraestructura existente para lograr conectividad.

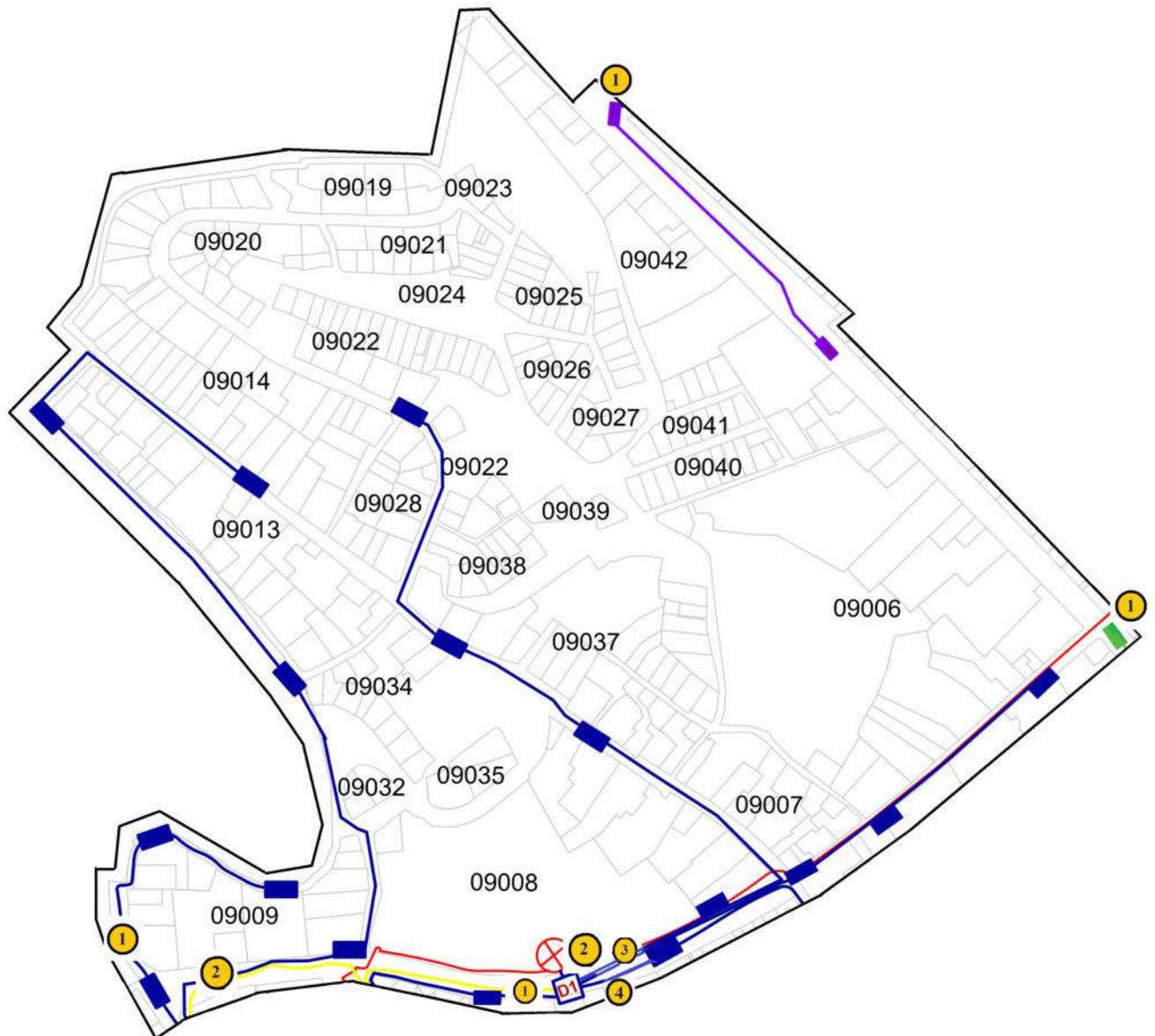


Figura 5.13: Diseño de la red sector SG-5

Sector SG-6: Barrio de San Pedro.- En este sector, donde no existen restricciones arqueológicas significativas, el diseño de la red se ha ajustado para cubrir amplias distancias, similar al sector anterior. Se han optimizado las conexiones entre FATs, instalando algunas en intersecciones viales para facilitar futuras expansiones.

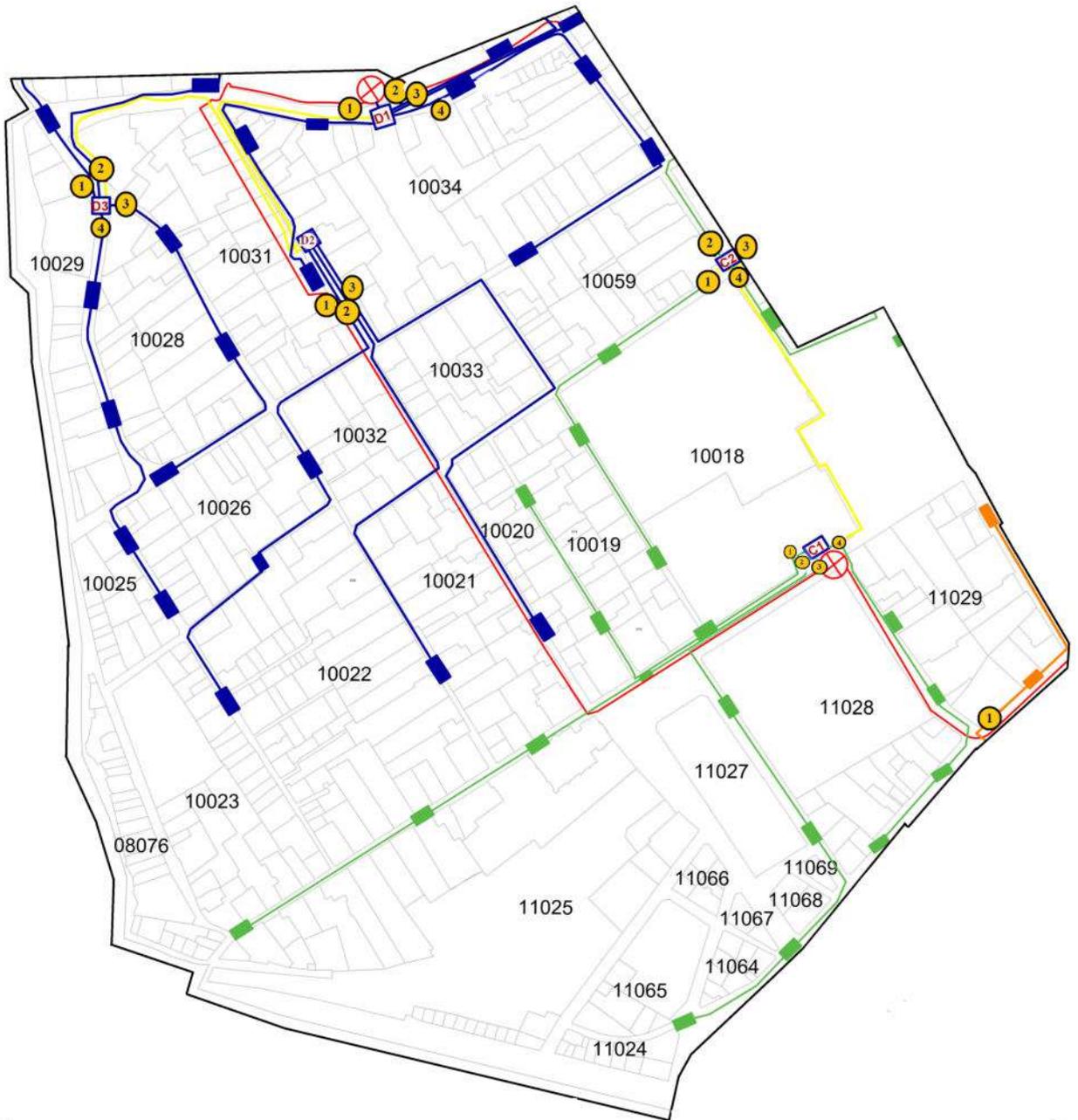


Figura 5.14: Diseño de la red sector SG-6

Sector SG-7: Pumacchupan - Av. Pardo - Tres Cruces.- Este sector, seleccionado como punto de inicio de la red, es también donde se propone ubicar la OLT. La elección estratégica de esta área facilita el despliegue inicial y la gestión eficiente de la infraestructura de comunicaciones.

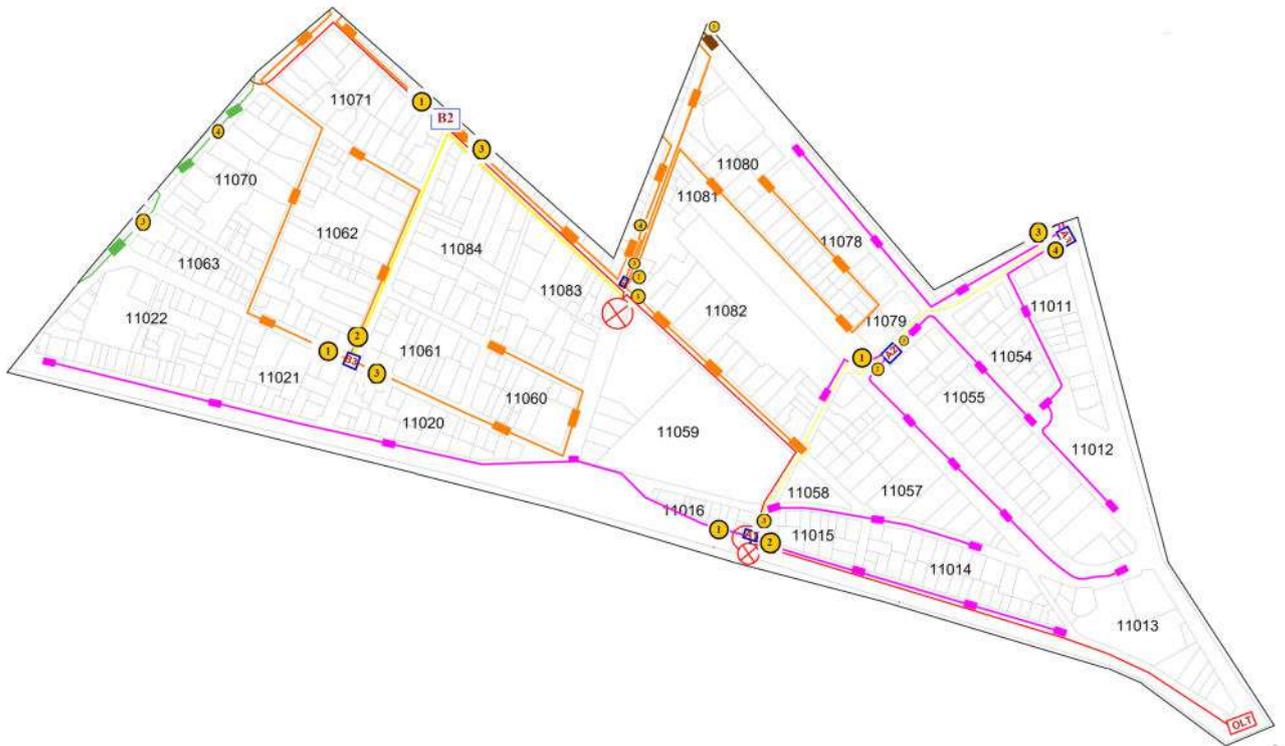


Figura 5.15: Diseño de la red sector SG-7

5.4.2. Equipos para la red de distribución

Dada la naturaleza pasiva de las redes ópticas, se destacan como elementos cruciales en su funcionamiento los divisores de señal óptica, comúnmente conocidos como *splitters*. Estos dispositivos se integran tanto en las cajas de distribución como en las cajas FAT, estableciendo dos niveles distintos de división de señal. Inicialmente, se implementa un *spliteo* de 1 x 2 en las cajas de distribución, facilitando la transmisión secuencial de señales desde la primera hasta la tercera caja, configuración que adopta una topología en árbol. Posteriormente, se lleva a cabo un segundo nivel de *spliteo* en las cajas FAT, donde se utilizan dos tipos de *splitters*: uno simétrico de 1 x 8, destinado a la salida desde el punto de la FAT, y otro asimétrico de 1 x 2, que transmite la señal a la FAT subsiguiente, manteniendo la misma topología en árbol. Este esquema de división, conocido como redes desbalanceadas, es idóneo para este tipo de despliegues debido a su compatibilidad inherente. Es importante destacar que el desbalance de potencias se presenta en una proporción de 7 a 3, lo que requiere una atención especial en el diseño de la red.

En consecuencia, las características óptimas de los equipos, tales como las cajas de distribución y las cajas FAT, deben estar alineadas con las necesidades de *spliteo* de la red. Entre las características adicionales a considerar, se incluyen la protección y certificación contra la humedad, flexibilidad para adaptarse a diversos tipos de *spliteo* y la máxima capacidad de puertos de salida para garantizar una escalabilidad óptima.

Este enfoque normativo no solo especifica las características mínimas que deben cumplir los equipos sino que también permite que las empresas no estén obligadas a adquirir una marca específica, sino que deben asegurarse de que los equipos que seleccionen cumplan con las especificaciones descritas. Esta orientación busca establecer un marco legal homogéneo que todas las empresas operadoras deben seguir obligatoriamente, garantizando así la uniformidad y cumplimiento dentro de las zonas patrimoniales.

5.5. Diseño de la estructura de soporte para la red óptica

5.5.1. Canalización de la red

Gracias al análisis detallado en el capítulo 4, hemos establecido la técnica y el método óptimo para la instalación de ductos en esta zona específica. Se han definido especificaciones precisas respecto a la profundidad y la configuración de los ductos, preferentemente en una sola columna.

Como se ilustra en la figura 5.8, donde se representa el despliegue completo de la red. Existen diferentes escenarios observados en las vías y encontramos situaciones donde transitan una o múltiples fibras, fibras troncales o combinaciones de ambas, así como puntos específicos donde coexisten distintos elementos de la red como cajas de distribución, mufas o FATs. Estos múltiples escenarios resaltan la impracticabilidad de realizar canalizaciones individuales para cada fibra, dado que esto contradiría los principios de conservación ambiental y patrimonial propuestos en este estudio. Por lo tanto, se propone el uso de una única canalización por donde transitarán múltiples ductos que posteriormente alojarán las fibras ópticas, manteniendo la configuración en una sola fila. Este enfoque no solo es compatible con los tipos de canalizaciones descritos en el capítulo 4, sino que también optimiza el montaje de la estructura en escenarios donde varias fibras y la red troncal comparten la misma vía. A continuación, presentaremos un ejemplo que ilustra cómo este método simplifica el montaje de la estructura para un escenario típico de múltiples fibras y red troncal.

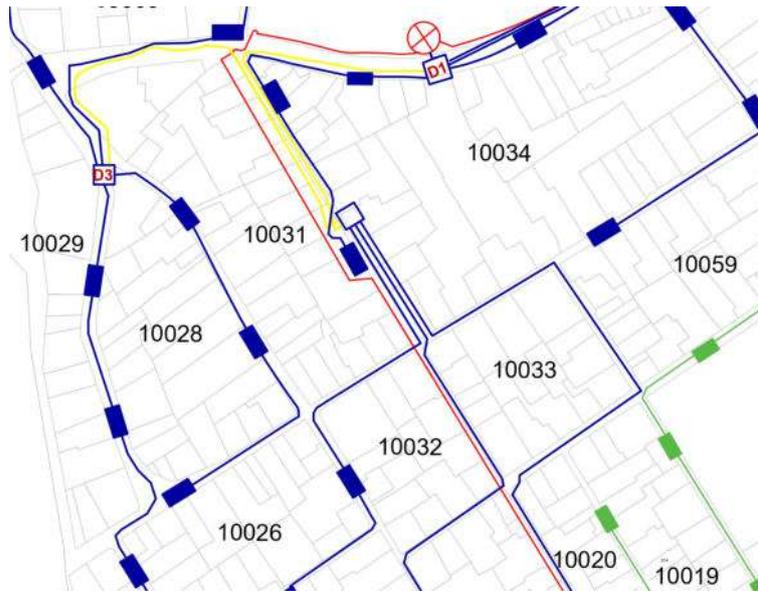


Figura 5.16: Distribución de múltiples fibras ópticas en la vía

En la figura 5.16 se muestra la disposición actual de múltiples fibras ópticas extendiéndose a lo largo de una vía urbana, destacando la complejidad y densidad de la red óptica en esta área específica en contraste con la figura 5.17 que ilustra el diseño propuesto para una canalización única, en la cual todas las fibras ópticas visualizadas en la primera imagen serán alojadas, simplificando el trazado y minimizando el impacto en el entorno.

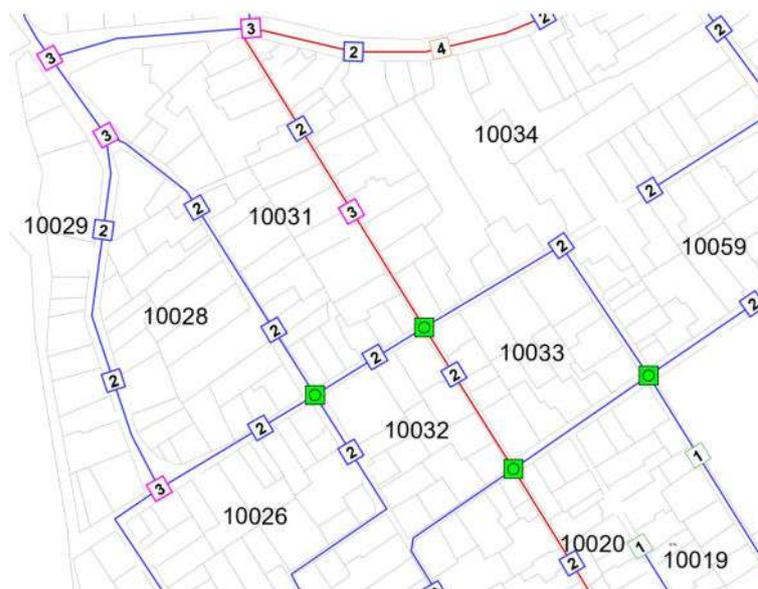


Figura 5.17: Esquema de canalización única para múltiples fibras ópticas

5.5.2. Despliegue de cámaras subterránea de la red

Como se demostró previamente, el diseño de nuestra red destaca diversas exigencias críticas en el momento de su despliegue efectivo, especialmente en lo que respecta a la infraestructura de soporte. Aunque hemos abordado ciertas necesidades con el método y el diseño de canalización, la red aún presenta desafíos específicos como son las intersecciones de fibras en cruces de avenidas y calles, además de escenarios donde coexisten diversos equipos de la red en un mismo punto. El objetivo de esta sección es gestionar y proteger estas necesidades dentro del marco regulatorio, respetando el plan de desarrollo urbano y salvaguardando el patrimonio cultural. Esto resultará en un diseño de despliegue de cámaras optimizado a lo largo del **CHC**.

5.5.2.1. Criterios de planificación urbana y conservación patrimonial para la instalación de cámaras subterráneas

A lo largo de este capítulo, hemos mantenido una vigilancia constante sobre el plano de priorización de intervención arqueológica como se ve en la 5.5, ya que nuestra implementación es íntegramente subterránea y las cámaras no son la excepción. Se ha establecido que, independientemente de su tamaño, ninguna cámara debe instalarse en áreas de alta prioridad arqueológica.

Además, el plano de movilidad y accesibilidad define la tipología vial y proporciona características específicas para cada tipo de vía. Esta clasificación es crucial para determinar las acciones apropiadas en las distintas vías del **CHC**, considerando los usos permitidos, los tipos de flujos de tráfico, los vehículos que pueden circular por ellas y las intervenciones permitidas. Esta información es vital para definir la resistencia requerida de las cámaras y sus tapas.

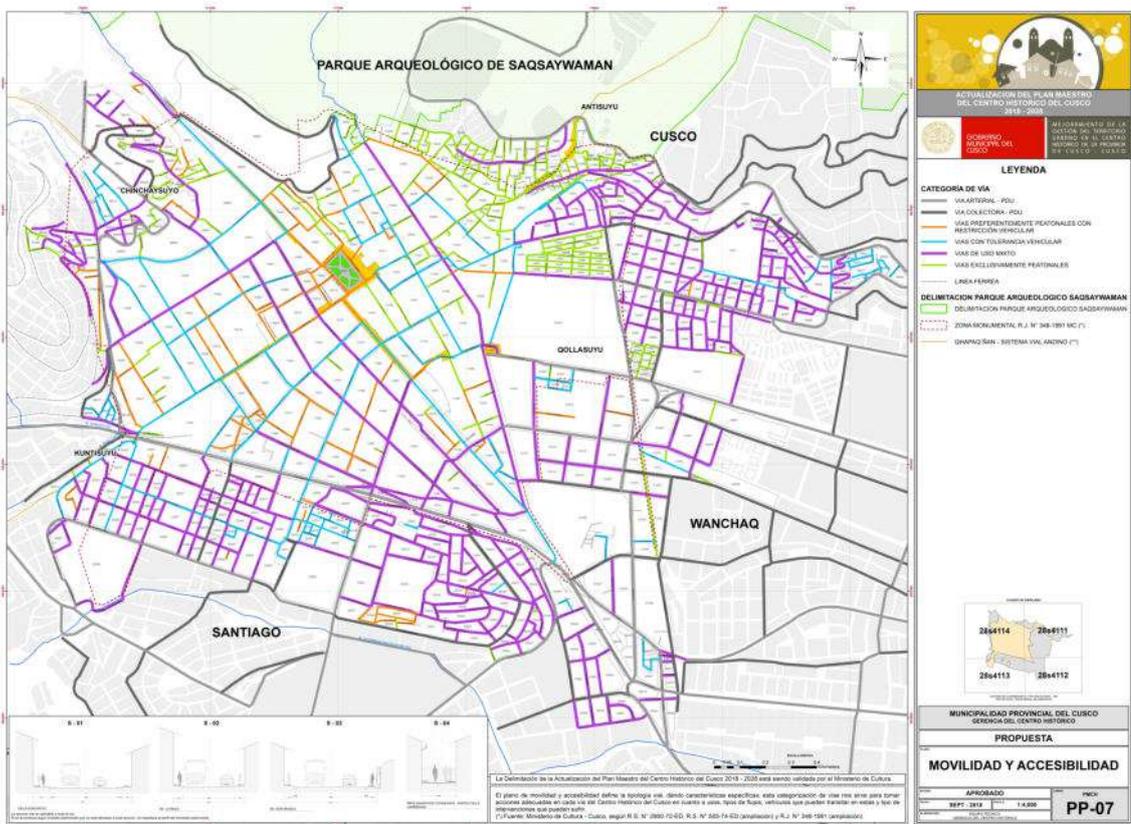


Figura 5.18: Plano accesibilidad CHC, plan de desarrollo urbano [3]

Finalmente, también tomaremos en cuenta el mapa del anillo vial, que según las regulaciones, identifica las vías con alto dinamismo vehicular. La selección adecuada de cámaras para su instalación en estas áreas es crucial para evitar daños estructurales.

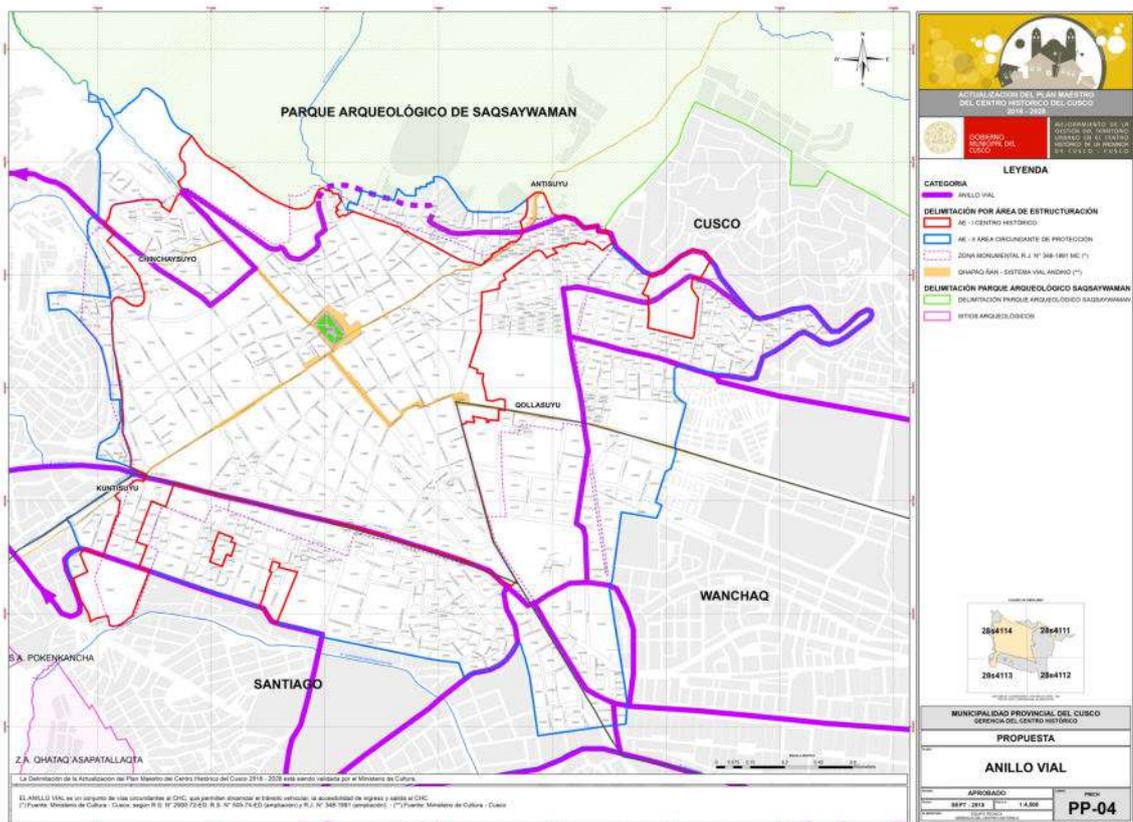


Figura 5.19: Plano anillo vial CHC, plan de desarrollo urbano [3]

5.5.2.2. Caracterización de las cámaras

Gracias al exhaustivo estudio comparativo realizado en el capítulo 4, hemos determinado que la opción más efectiva para el despliegue de estructuras subterráneas es utilizar las cámaras tipo *Bulk* del reconocido fabricante Channel. Este fabricante nos proporciona seis modelos distintos de cámaras, cada uno diseñado para satisfacer requerimientos específicos de la red, permitiendo una adaptación flexible y eficiente que cumple con los rigurosos criterios de planificación urbana y conservación patrimonial establecidos previamente.

1. Especificaciones estructurales: De acuerdo con las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante, estas cámaras presentan una serie de características esenciales que se detallan en la tabla 5.4. Estas incluyen, pero no se limitan a dimensiones variadas, capacidades de carga diferenciadas y opciones de configuración que permiten su instalación en entornos con restricciones físicas o estéticas particulares.

Cada modelo ha sido evaluado para asegurar que su uso no solo sea funcional desde el punto de vista técnico, sino también compatible con los lineamientos de protección del patrimonio histórico y cultural del área de intervención.

Tabla 5.4: Caracterización cámaras tipo *Bulk*

Cámara	Resistencia	Profundidades disponibles (cm)							Ancho (cm)	Largo (cm)
<i>Bulk 0</i>	15 t		30	45	61				30	30
<i>Bulk 1</i>	15 t	15	30	45	61				28	45
<i>Bulk 2</i>	1.3 – 15 t		30	45	61				33	61
<i>Bulk 3</i>	1,3 – 25 t		30	45	61	76	91		43	76
<i>Bulk 4</i>	1,3 – 25 t		30	45	61	76	91		61	91
<i>Bulk 7</i>	1,3 – 25 t			45	61	76	91		76	121,92
<i>Bulk 8</i>	15 t				61		91	122	106	165.1

Como se puede observar, los modelos disponibles de cámaras subterráneas presentan una progresión ascendente en tamaño. Además, ofrecen diversas opciones de profundidad de instalación. No obstante, de acuerdo con los hallazgos del capítulo 4, las profundidades adecuadas para excavaciones en el **CHC** son de aproximadamente 30 cm, especialmente en zonas con significativas restricciones arqueológicas. En esta tabla también se destaca las cámaras *Bulk 3*, *Bulk 4*, y *Bulk 5* por su superior resistencia, convirtiéndolas en las opciones preferidas para albergar la infraestructura de la red troncal y su despliegue en áreas de intenso tráfico vehicular.

2. Análisis de capacidades y compatibilidades: Se realizó un análisis detallado de las capacidades de conexión y compatibilidad de cada modelo de cámara, enfocándose particularmente en su habilidad para manejar derivaciones de ductos y facilitar el tránsito de fibra óptica y otros componentes de la red troncal. Se determinó que la *Bulk 0* es idónea para conexiones exclusivas debido a su tamaño compacto, adecuado solo para el paso de cables y derivaciones de ductos, a diferencia de la *Bulk 1*, que no se recomienda para estas funciones. Los modelos *Bulk 3*, *Bulk 4* y *Bulk 7* emergen como favoritos debido a sus capacidades robustas para manejar tanto la conexión de derivación como el paso de la red troncal.

3. Criterios de compatibilidad con equipos de red: El tamaño de la cámara es un factor crucial que influye directamente en su capacidad para albergar diferentes equipos de la red troncal y de distribución. Aunque no se muestra en el cuadro, se debe considerar un espacio adicional para la reserva de fibra óptica, típicamente instalada en las cajas de empalme o mufas. Este análisis reveló que las instalaciones son compatibles con las cámaras utilizadas para las mufas, siempre considerando bobinas que respeten los radios de curvatura mínimos para evitar la atenuación de la señal.

Tabla 5.5: Análisis de compatibilidad de cámaras

Cámara	Compatibilidad de conexión		Compatibilidad de equipos		
	Capacidad de derivaciones	Paso de FO troncal	Mufa	Caja de distribución	FAT
<i>Bulk 0</i>	SI	SI	NO	NO	NO
<i>Bulk 1</i>	NO	NO	NO	NO	SI
<i>Bulk 2</i>	NO	SI	NO	NO	SI
<i>Bulk 3</i>	SI	SI	NO	SI	SI
<i>Bulk 4</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Bulk 7</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Bulk 8</i>	NO	SI	NO	NO	NO

5.5.3. Diseño final para el soporte de la red óptica

En las secciones anteriores, hemos explorado en detalle las especificaciones y criterios que guían la selección y ubicación de cámaras y ductos subterráneos, siempre con un enfoque consciente hacia la preservación del patrimonio cultural del CHC. Avanzamos ahora hacia una visualización más concreta y técnica de cómo estos elementos se integran físicamente en el entorno.

La presente sección, presenta una serie de planos detallados que no solo reflejan la distribución y el montaje técnico de las infraestructuras, sino que también demuestran cómo se ha logrado la compatibilidad con las regulaciones patrimoniales. Estos esquemas son el resultado de un meticuloso proceso de diseño que busca armonizar las necesidades modernas de conectividad con el imperativo de proteger y valorar nuestro legado histórico (anexo M).

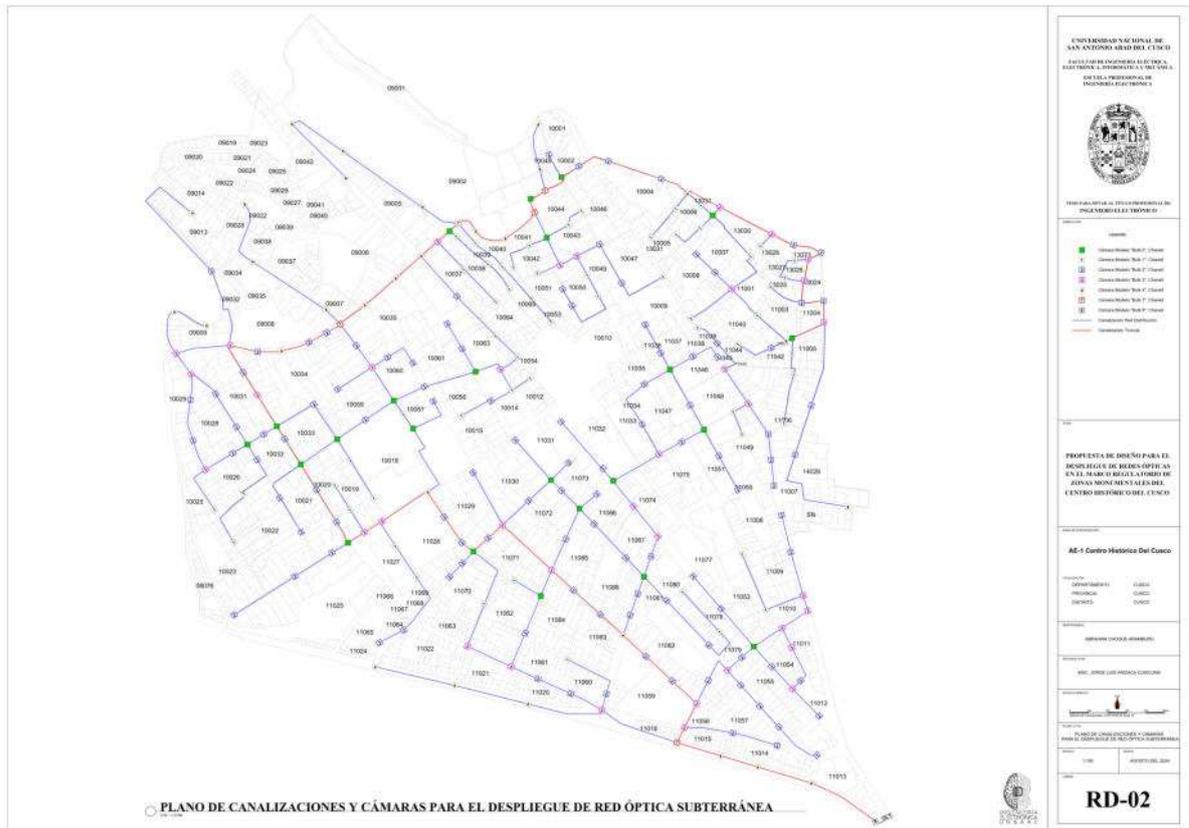


Figura 5.20: Diseño estructura red óptica

De acuerdo al plano de organización de sectores para la gestión del territorio del CHC (ver figura 5.1), presentamos los planos de cámaras y ductos para cada uno de ellos:

■ Sector SG-1: Núcleo del CHC.-

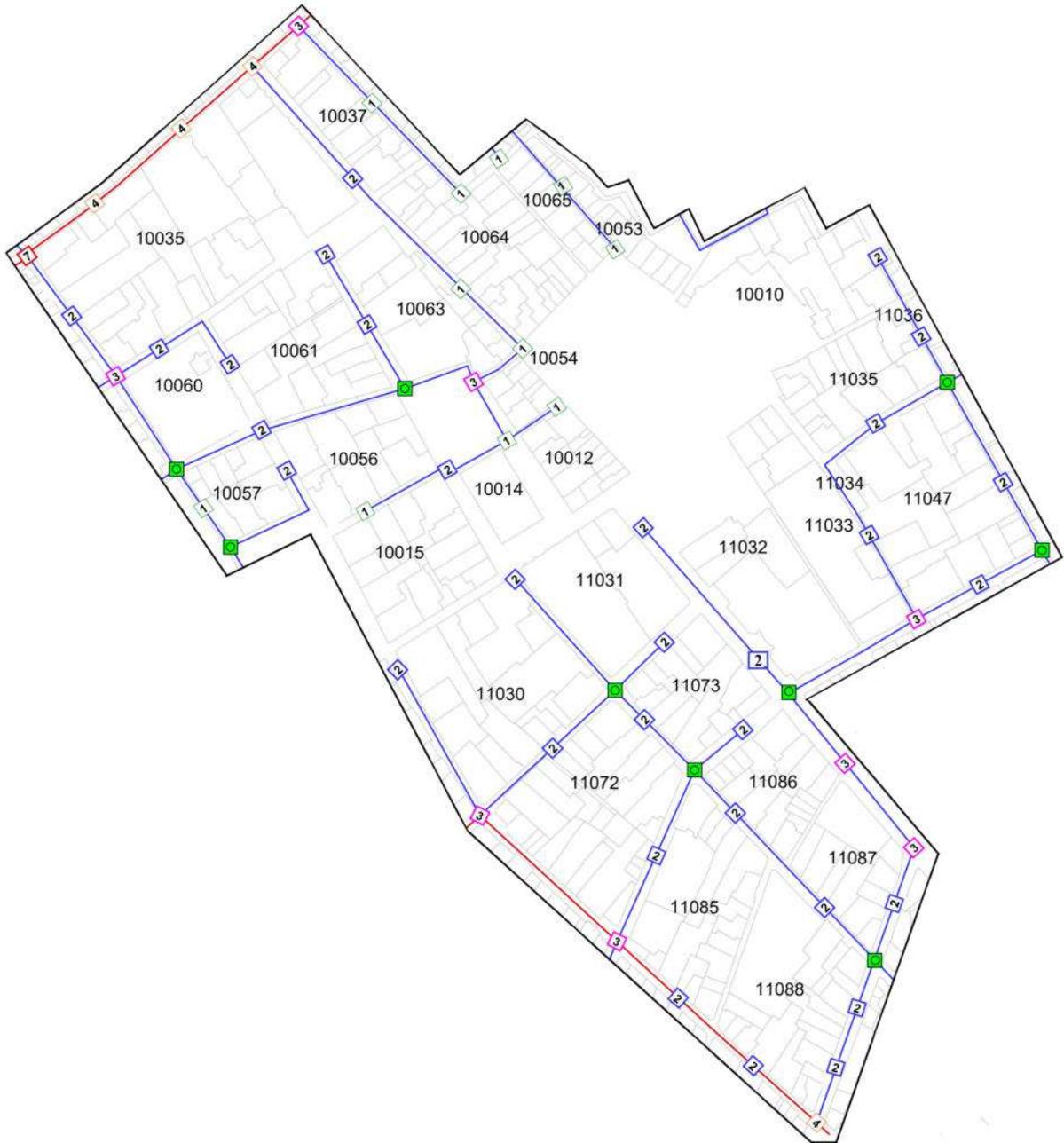


Figura 5.21: Diseño estructura red óptica sector SG-1

■ Sector SG-2: Barrio de San Cristóbal.-

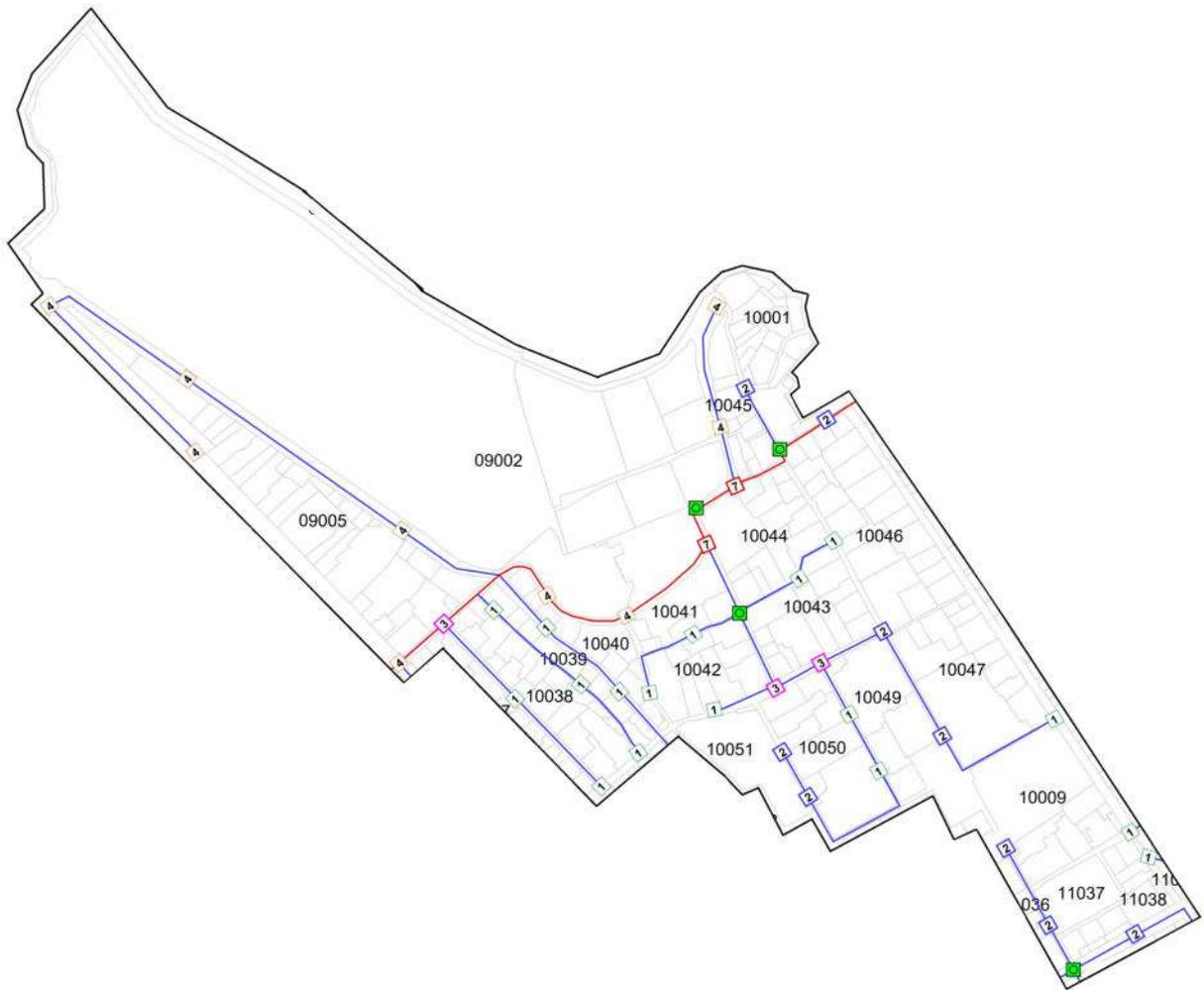


Figura 5.22: Diseño estructura red óptica sector SG-2

■ Sector SG-3: Santo Domingo - San Agustín.-

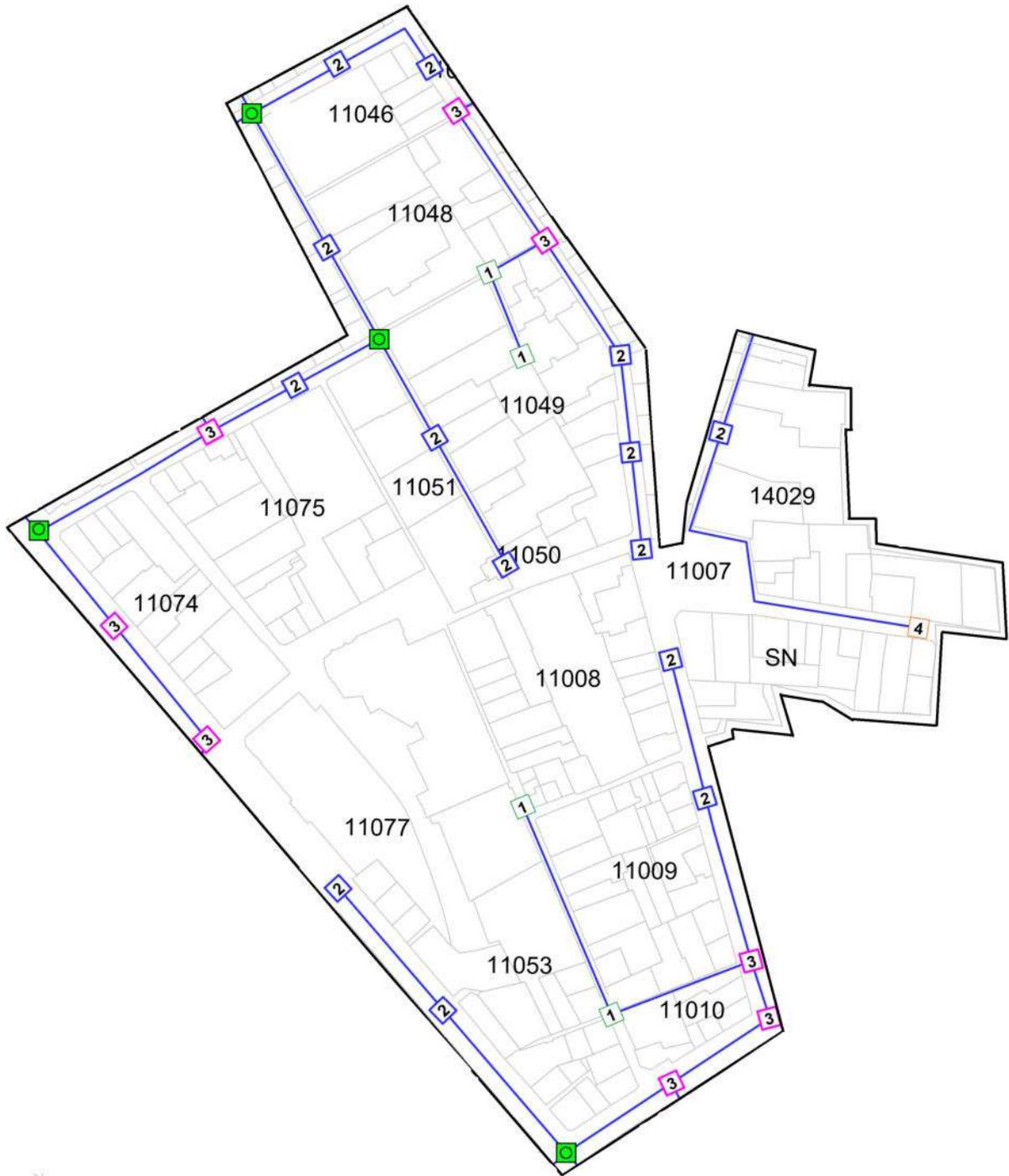


Figura 5.23: Diseño estructura red óptica sector SG-3

■ Sector SG-4: Barrio de San Blas.-

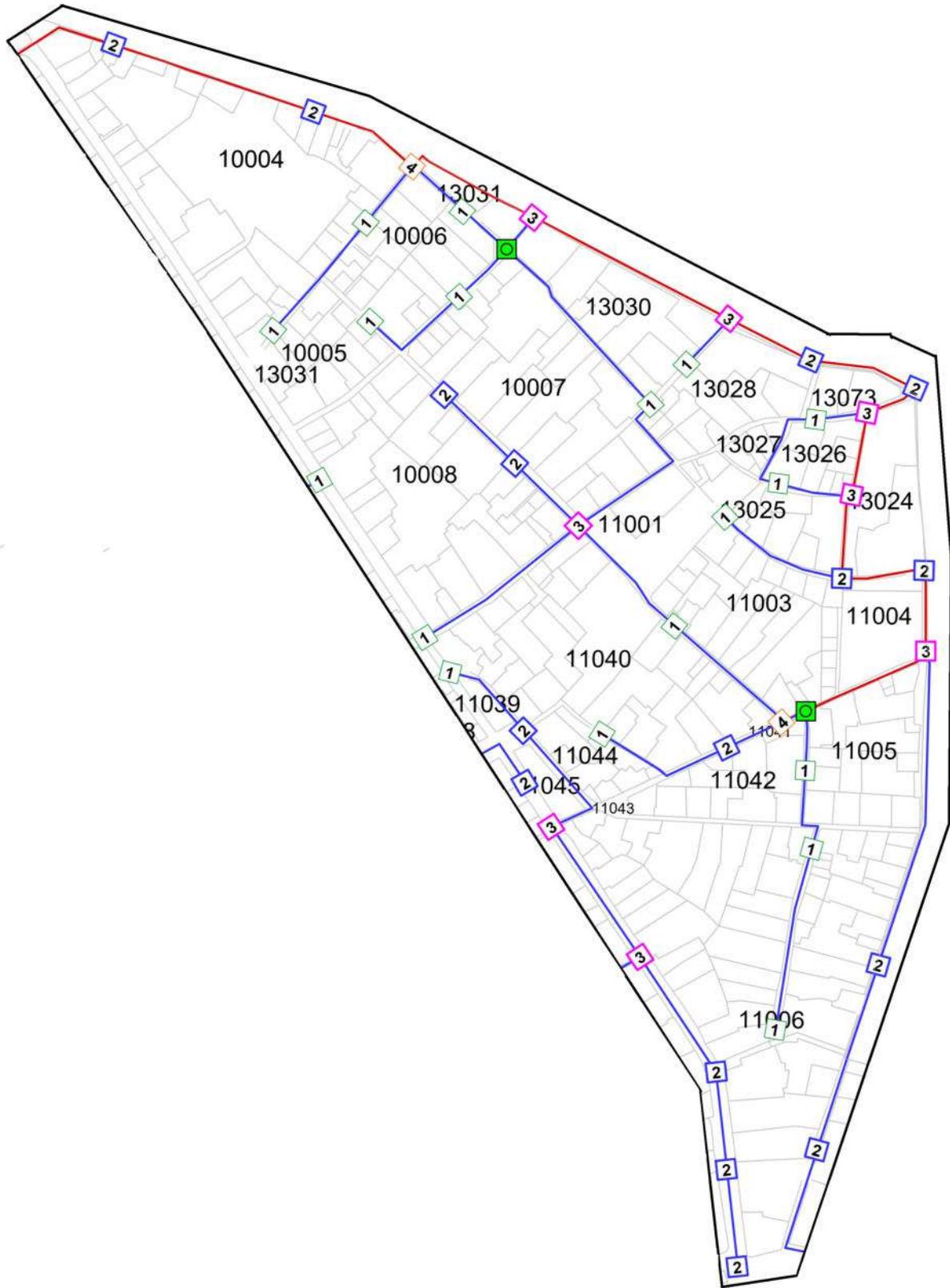


Figura 5.24: Diseño estructura red óptica sector SG-4

■ Sector SG-5: Barrio de Santa Ana.-

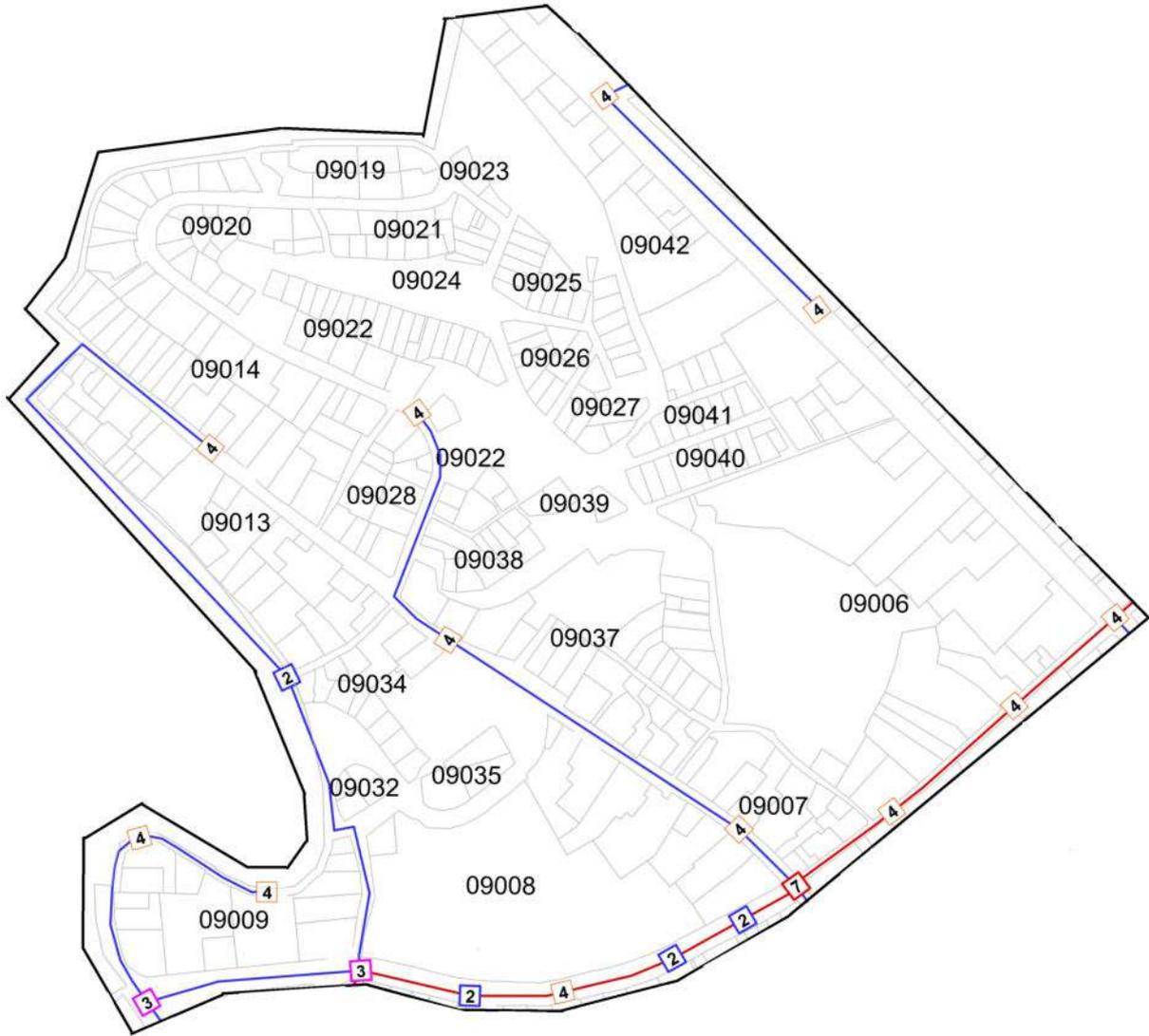


Figura 5.25: Diseño estructura red óptica sector SG-5

■ Sector SG-6: Barrio de San Pedro.-

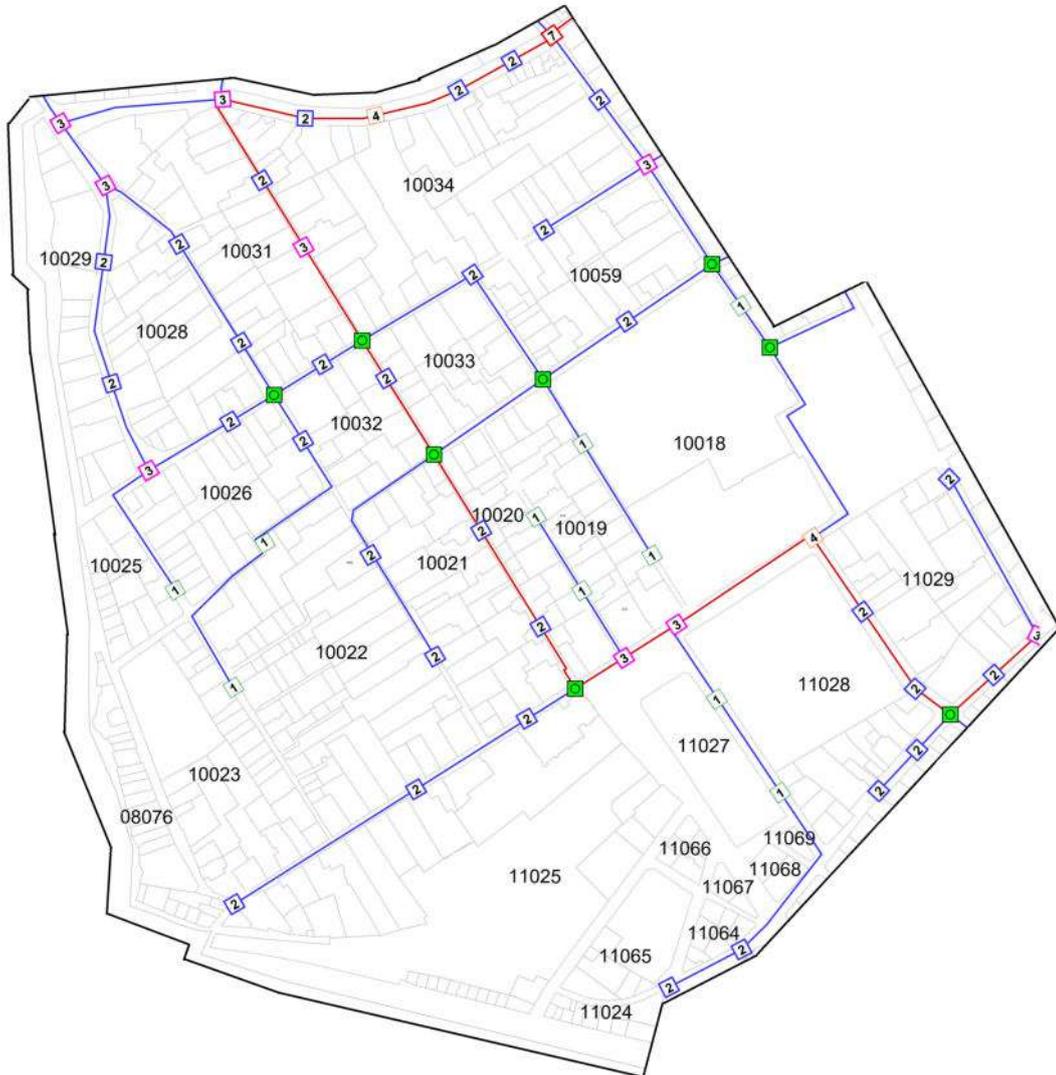


Figura 5.26: Diseño estructura red óptica sector SG-6

■ Sector SG-7: Pumacchupan - Av. Pardo - Tres Cruces.-

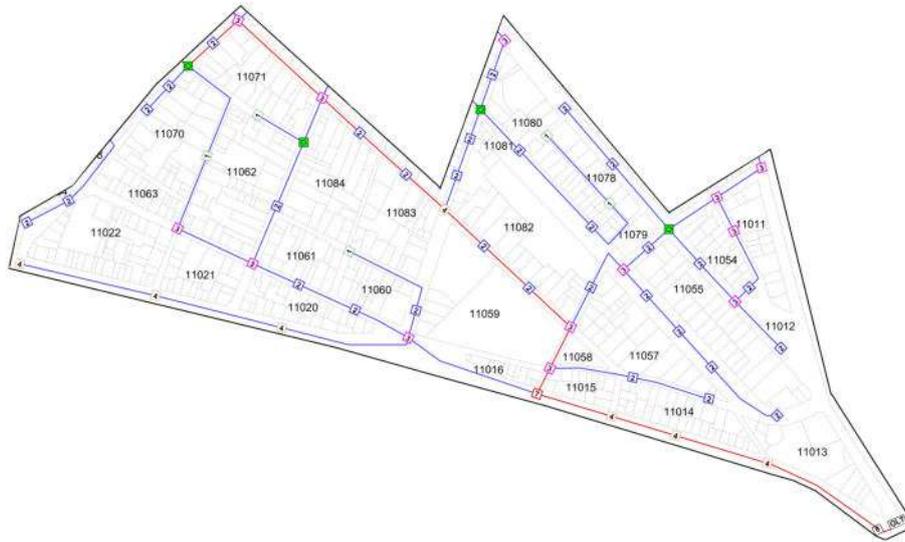


Figura 5.27: Diseño estructura red óptica sector SG-7

Para fines organizativos y de claridad en la presentación de nuestros esfuerzos de planificación, presentamos la tabla 5.6. Esta tabla detalla la cantidad y tipos de cámaras subterráneas distribuidas a lo largo de distintas zonas del proyecto. La correlación entre el tamaño de las cámaras y su capacidad de soporte de carga es evidente y refleja una planificación meticulosa y considerada. Específicamente, las cámaras de mayor tamaño, diseñadas para soportar cargas vehiculares significativas, se localizan principalmente en áreas circunscritas por el anillo vial. Esta ubicación estratégica se seleccionó debido a la alta intensidad del tráfico en estas áreas, asegurando que la infraestructura subterránea pueda soportar el esfuerzo sin comprometer su funcionalidad o seguridad.

Tabla 5.6: Número de cámaras instaladas según criterios de diseño

Cámara	Total	Anillo vial		Vías de uso mixto	Tolerancia de vehículos	Preferencia peatonal	Vía peatonal
		Vía arterial - PDU	Vía colectora - PDU				
<i>Bulk 0</i>	22	NI	1	4	13	3	2
<i>Bulk 1</i>	60	NI	1	NI	NI	33	27
<i>Bulk 2</i>	113	NI	1	44	60	3	6
<i>Bulk 3</i>	37	NI	NI	12	17	2	5
<i>Bulk 4</i>	29	11	8	2	7	1	NI
<i>Bulk 7</i>	5	1	3	NI	1	NI	NI
<i>Bulk 8</i>	1	NI	NI	NI	1	NI	NI

5.6. Diagrama de instalación

En esta sección, se presentan las especificaciones técnicas y estructurales de las instalaciones para el despliegue de redes ópticas en el CHC. Dado el valor patrimonial de esta zona, es crucial manejar cada detalle del diseño con sumo cuidado para evitar impactos adversos en el entorno monumental. Las canalizaciones y cámaras subterráneas, elementos fundamentales en la infraestructura de la red, se describen aquí detalladamente.

El cuidado en el diseño de estas estructuras es vital para asegurar que no se invadan áreas patrimoniales y para definir los parámetros estructurales que se deben seguir.

5.6.1. Diagrama general de canalizaciones

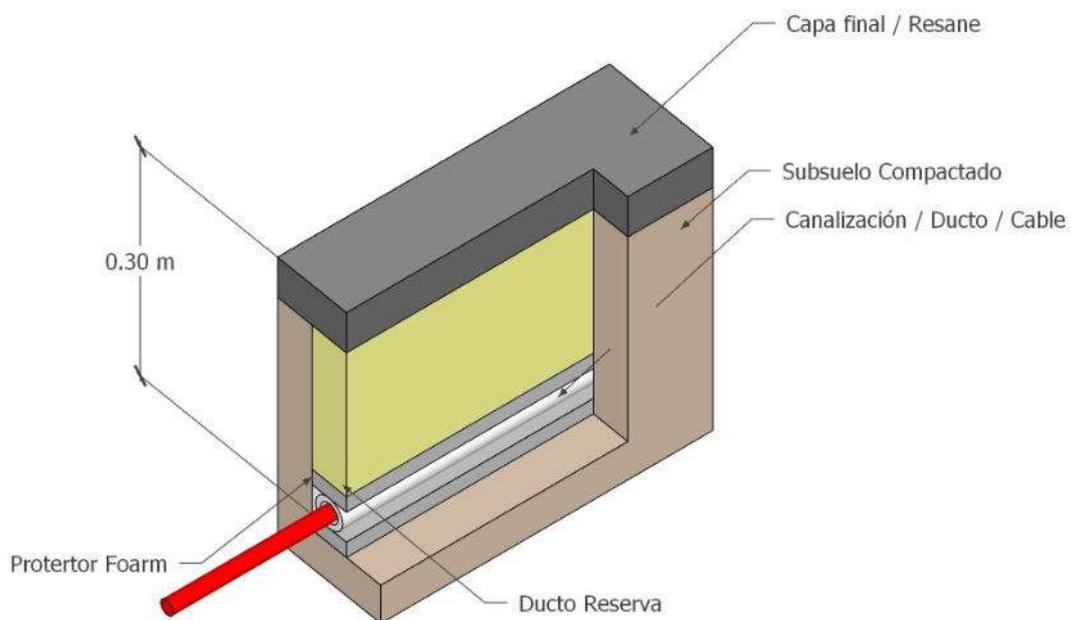


Figura 5.28: Diagrama general de los ductos

5.6.2. Diagrama general de las cámaras

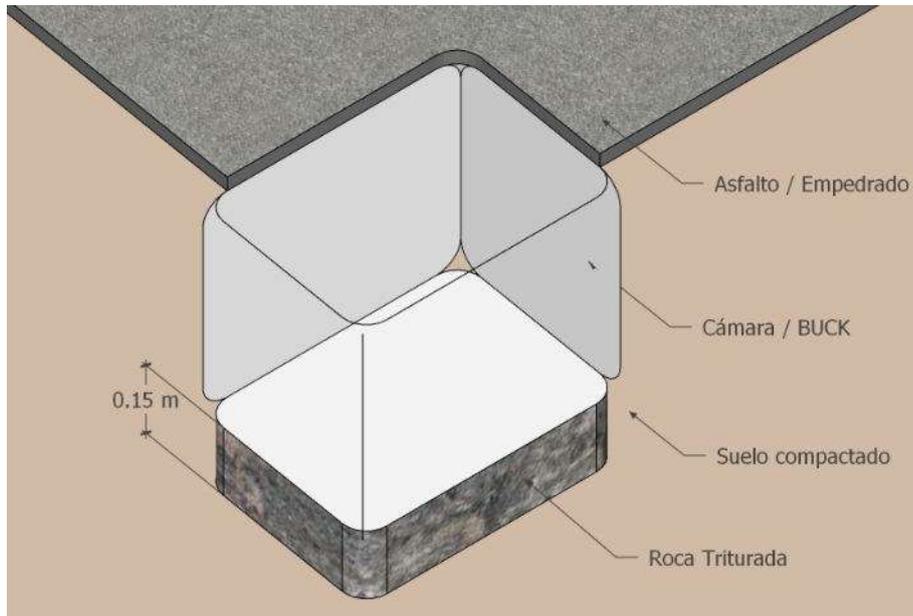


Figura 5.29: Diagrama general de las cámaras

5.6.3. Diagrama específico de canalizaciones

5.6.3.1. Diagrama de instalación canalización tipo 1

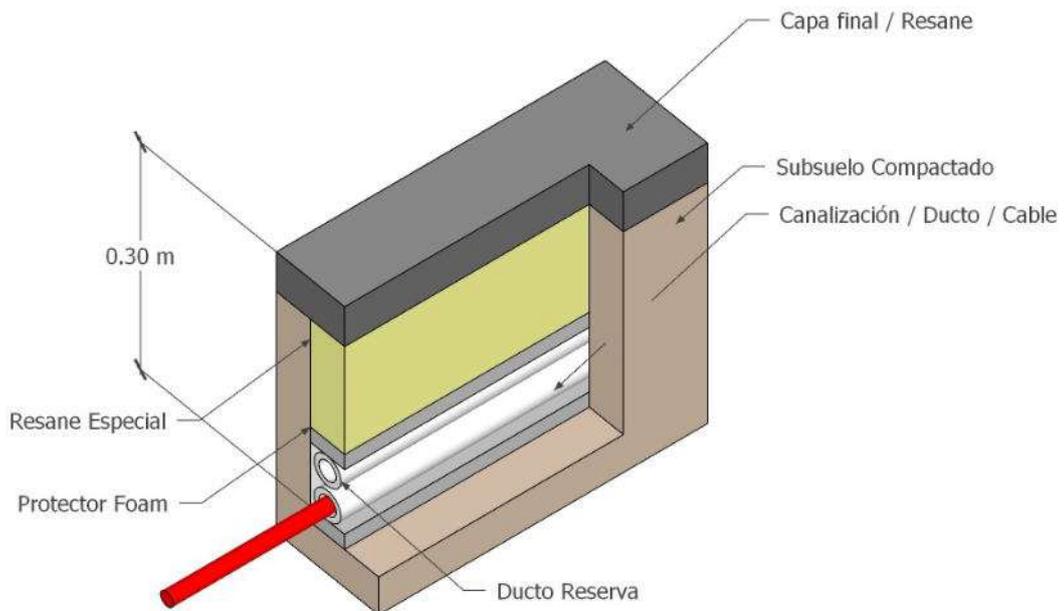


Figura 5.30: Diagrama de instalación canalización tipo 1

5.6.3.2. Diagrama de instalación canalización tipo 2

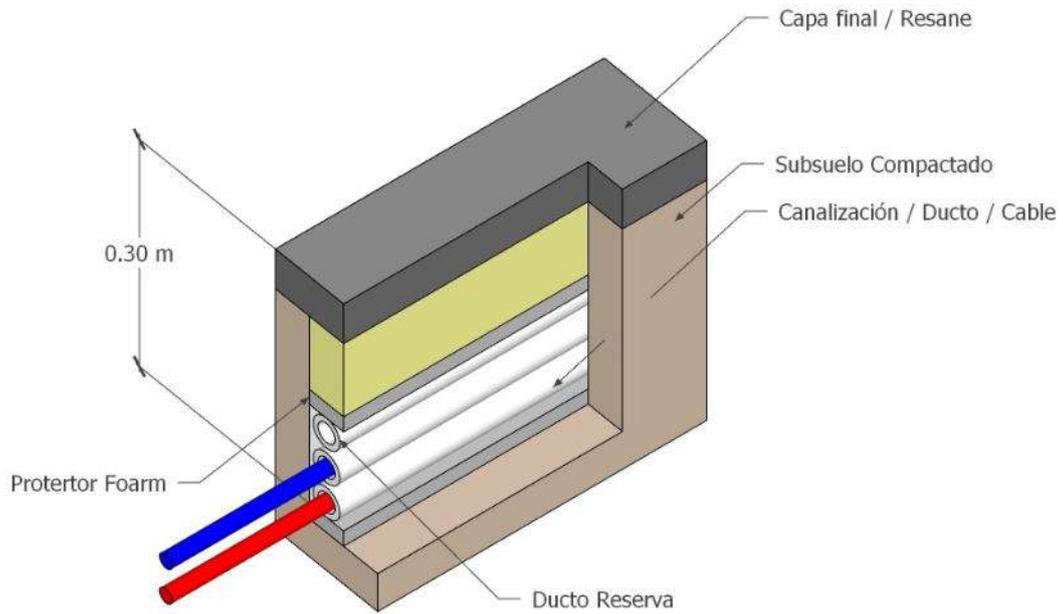


Figura 5.31: Diagrama de instalación canalización tipo 2

5.6.3.3. Diagrama de instalación canalización tipo 3

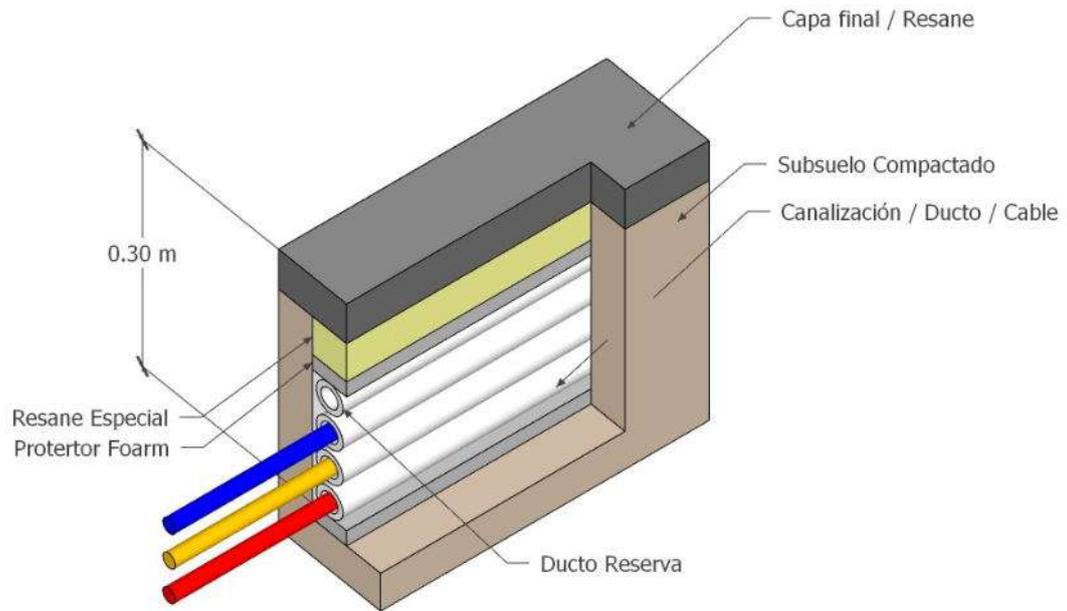


Figura 5.32: Diagrama de instalación canalización tipo 2

5.6.3.4. Diagrama de instalación canalización tipo 4

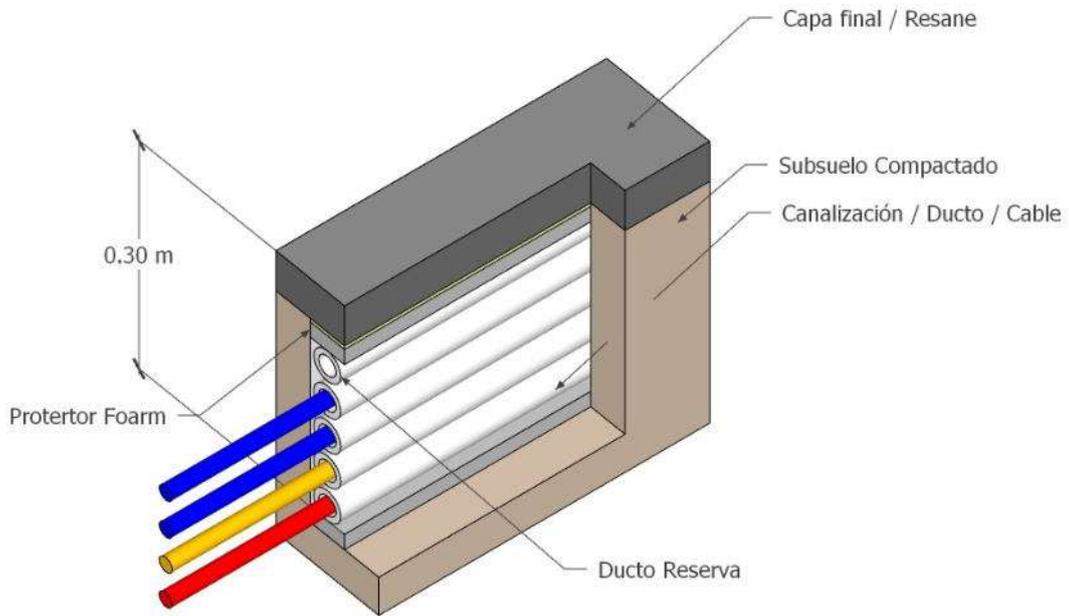


Figura 5.33: Diagrama de instalación canalización tipo 4

5.6.4. Diagrama específico de instalación de las cámaras

5.6.4.1. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 0*

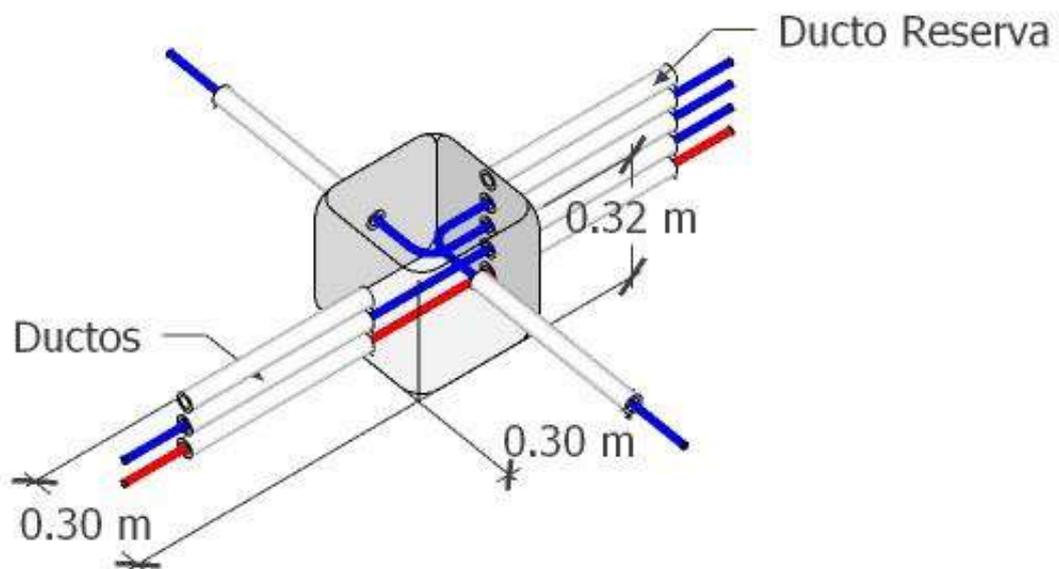


Figura 5.34: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 0*

5.6.4.2. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 1*

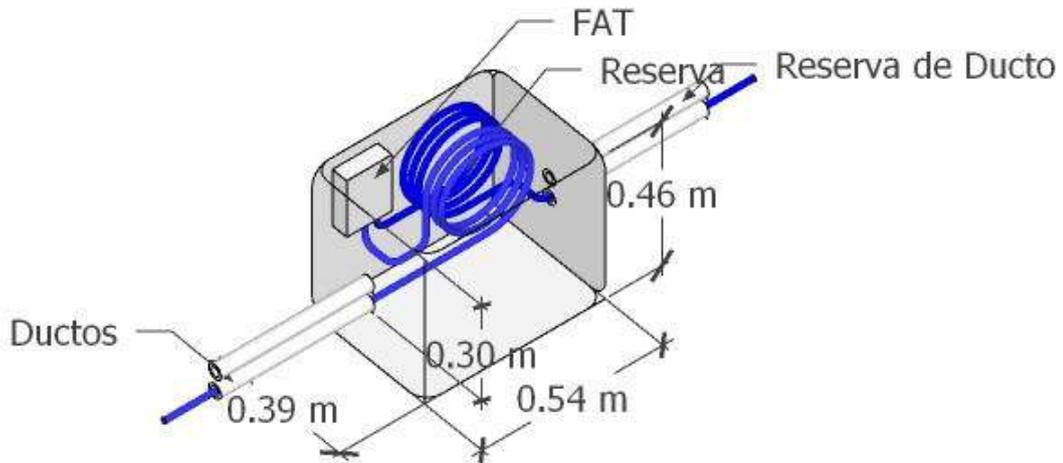


Figura 5.35: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 1*

5.6.4.3. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 2*

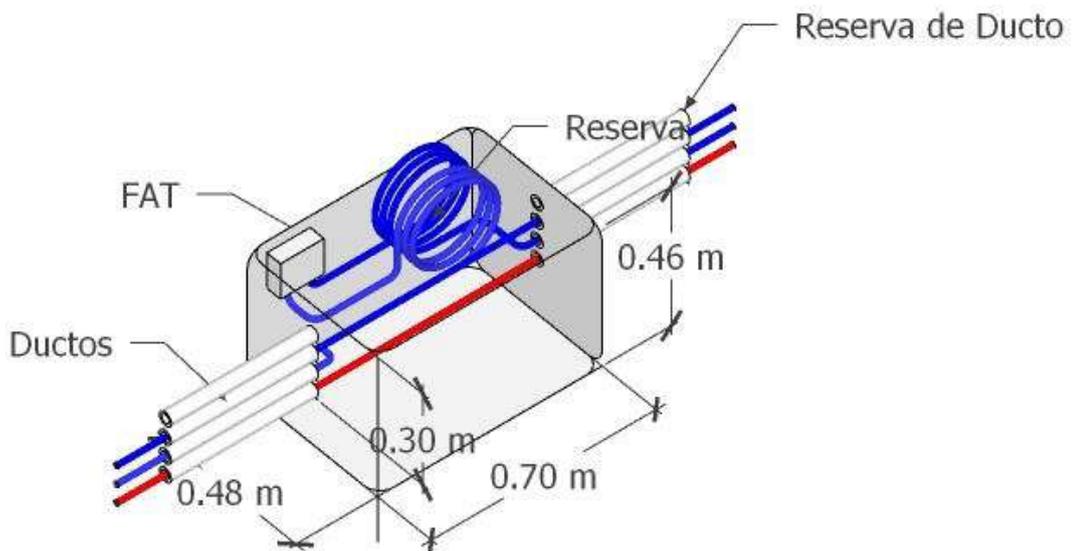


Figura 5.36: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 2*

5.6.4.4. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 3*

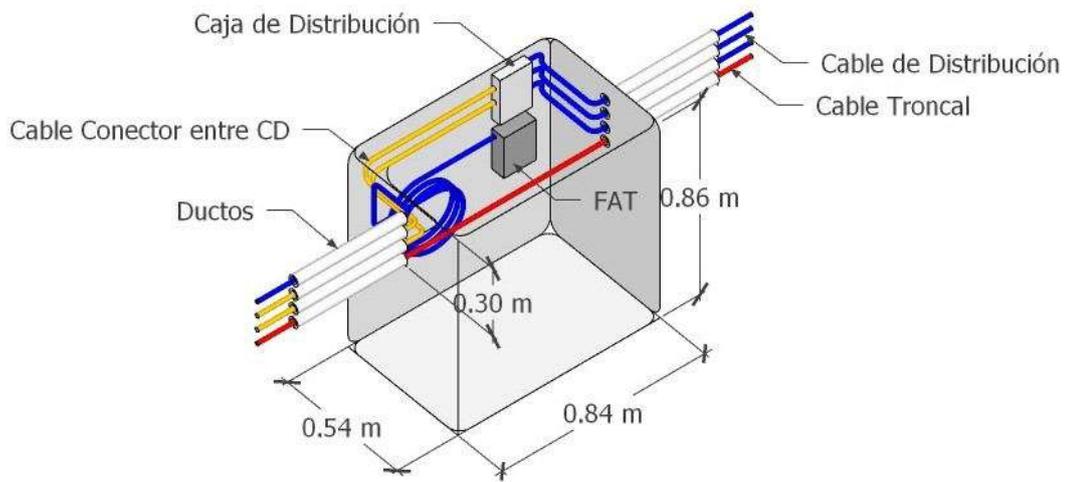


Figura 5.37: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 3*

5.6.4.5. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 4*

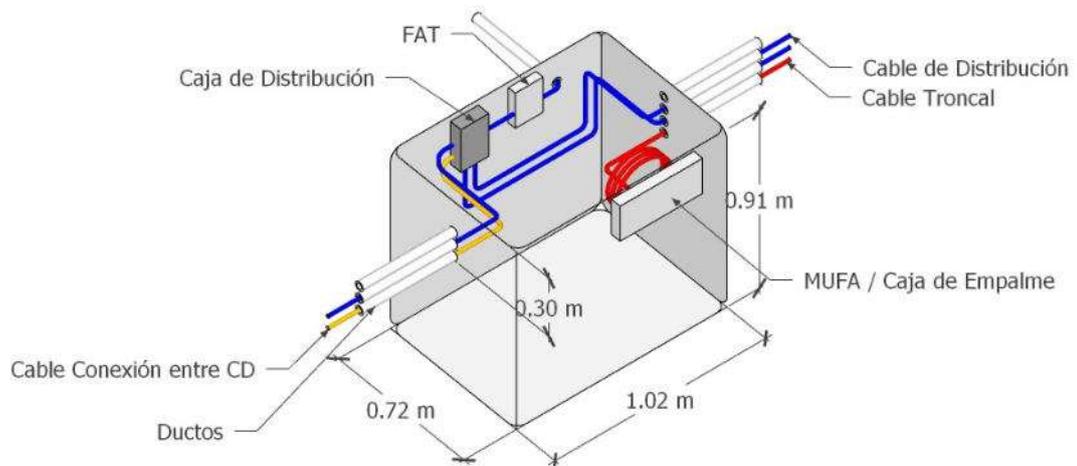


Figura 5.38: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 4*

5.6.4.6. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 7*

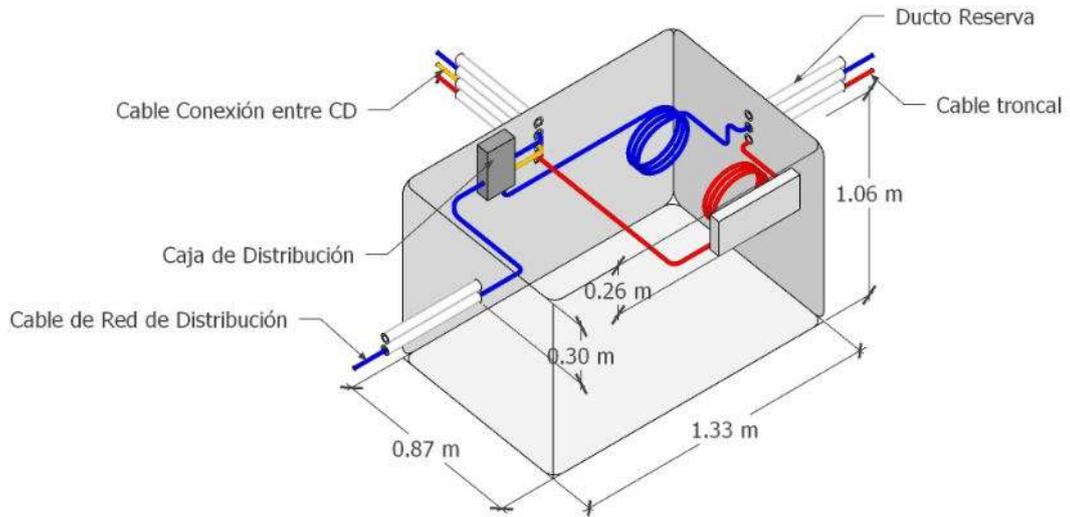


Figura 5.39: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 7*

5.6.4.7. Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 8*

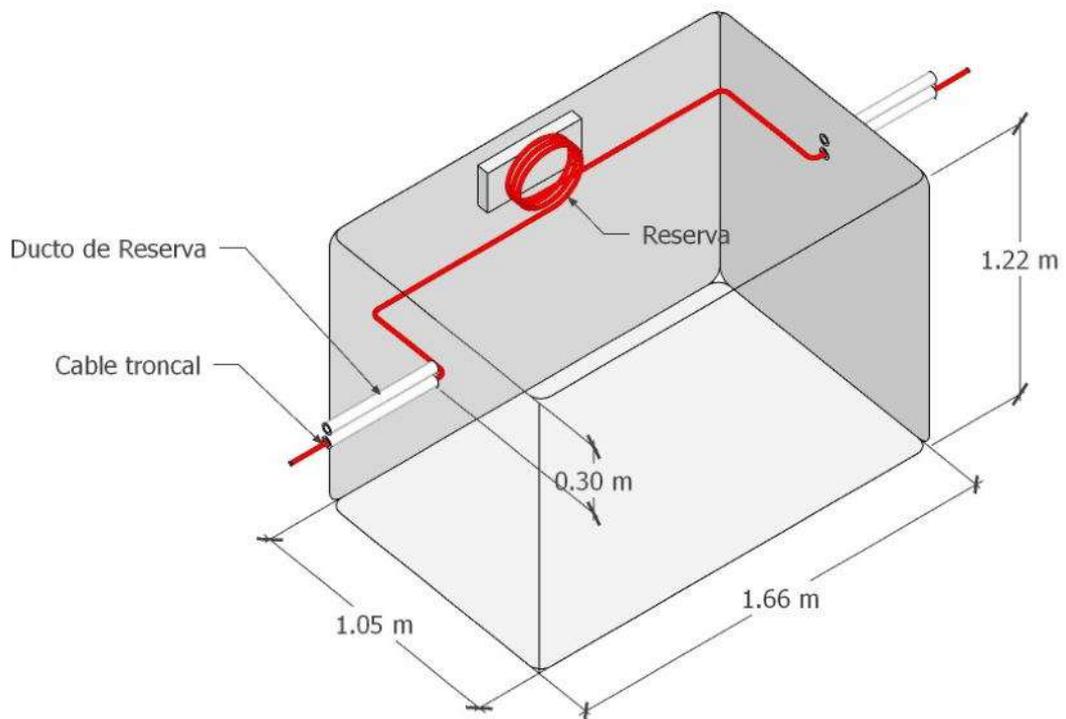


Figura 5.40: Diagrama de instalación cámara tipo *Bulk 8*

Capítulo 6

Costos y presupuestos

Este capítulo presenta un análisis detallado de los costos asociados con el diseño, la estructura y la implementación de la red óptica planificada para el **CHC**. El propósito de esta sección es desglosar y cuantificar los recursos económicos necesarios para llevar a cabo el despliegue de la red de acuerdo con los principios técnicos y las normativas patrimoniales previamente expuestas.

La sección inicial aborda los costos relacionados con el diseño de la red, tanto en su componente troncal como en la red de distribución, especificando los equipos y componentes requeridos de acuerdo al capítulo 4 y capítulo 5 para garantizar la calidad y eficiencia del sistema. Posteriormente, se desglosan los costos de la estructura de soporte, como cámaras subterráneas y ductos.

Finalmente, se presenta un apartado exclusivo para los costos de implementación, que incluye mano de obra, permisos y licencias, logística y un margen para imprevistos.

Los precios reflejan valores de mercado en soles (S/) y fueron obtenidos a partir de consultas a proveedores y referencias comerciales actuales. Cabe señalar que estos valores no incluyen impuestos, aranceles u otros costos adicionales relacionados con la importación o instalación. Además, cada tabla se apoya en referencias de investigación de tesis y estudios de viabilidad para justificar y respaldar la elección de cada componente.

6.1. Costos equipamiento de la red

6.1.1. Costos equipamiento de la red para la red principal o troncal

La siguiente tabla muestra el desglose de los costos estimados de los elementos principales necesarios para la instalación de la red troncal.

Tabla 6.1: Costos estimados de equipamiento de la red troncal

Elemento	Cantidad	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)
OLT MA5800	1	5 152.80	5 152.80
Mufa/caja de empalme	8	500.00	4 000.00
Fibra óptica de 144 hilos	4.95 km	2 000.00/km	9 900.00
Total (S/)			19 052.80

Los componentes indicados en la tabla anterior representan los elementos esenciales de la red troncal. La OLT MA5800, cuyo datasheet se encuentra en la sección de anexos, actúa como el núcleo de la red, facilitando la distribución eficiente de señales ópticas hacia las distintas áreas del sistema. Las mufas o cajas de empalme, cuyo costo ha sido respaldado por investigaciones previas, aseguran la protección de las conexiones de fibra, previniendo la degradación de la señal y facilitando el mantenimiento. Además, la fibra óptica de 144 hilos, seleccionada por su capacidad para transmitir datos a alta velocidad y cubrir amplias distancias, ha sido evaluada en función de su relación costo-beneficio [108] y [23].

6.1.2. Costos equipamiento de la red de distribución

La red de distribución conecta estratégicamente las cajas de distribución y los terminales FAT, asegurando la cobertura adecuada en toda la zona de implementación. En la siguiente tabla, se presentan los costos para los elementos principales de esta sección de la red.

Tabla 6.2: Costos estimados de equipamiento de la red de distribución

Elemento	Cantidad	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)
Caja de distribución SSC2110-FM48	21	523.18	10 986.78
FAT desvalanceado	252	189.97	47 872. 44
FAT valanceado	84	149.53	12 560. 52
Fibra óptica 72 hilos	6.3 km	1 500.00/km	9 450. 00
Fibra óptica 48 hilos	67.2 km	800.00/km	53 760. 00
Total (S/)			134 629.74

En el diseño del sistema, se ha considerado el uso de cajas de distribución SSC2110-FM48 y dos tipos de terminales **FAT**; desbalanceado y balanceado. Los costos de estos elementos se basan en precios referenciados en una investigación previa, que coincide con el enfoque de redes desbalanceadas adoptado en el diseño del capítulo 5. En este esquema, el **FAT** balanceado se utiliza únicamente en la última línea de la red de distribución, donde se requiere un único proceso de división óptica (*split*), lo cual lo hace relativamente más económico. Por el contrario, el **FAT** desbalanceado, que incorpora divisores, resulta más adecuado para el resto de las líneas, aunque con un costo más elevado [108].

En cuanto a la fibra óptica, se han utilizado dos tipos en función de las conexiones. La fibra de 72 hilos, identificada en el diseño con el color amarillo, se emplea para conectar las cajas de distribución. Para calcular su longitud, se estimó una distancia máxima de 300 metros entre cajas de distribución, alcanzando un total de 6.3 km, lo que permite presupuestos ópticos adecuados, como se discutirá en el capítulo de validación de resultados.

Por otro lado, la fibra de 48 hilos se utiliza para las conexiones entre los terminales **FAT**. En este caso, se estimó una distancia máxima de 200 metros entre **FATs**, resultando en aproximadamente 800 metros por línea. Al considerar un total de 1.37 km por *cluster* y los 7 *clusters* del sistema, se obtiene una longitud total de 67.2 km. Estas cantidades representan valores máximos, para asegurar que los presupuestos ópticos cumplan con los requisitos de atenuación y potencia necesarios, tal como se describe en el capítulo 7.

6.1.3. Costos adicionales equipamiento de la red

Además de los componentes esenciales para la red troncal y de distribución, se requieren elementos adicionales que permitan el correcto funcionamiento y protección de los sistemas de la red. La mayoría de estos componentes están destinados a la infraestructura del centro de datos, así como a los sistemas de protección eléctrica y de gestión de red. La siguiente tabla presenta los costos estimados para estos elementos adicionales [108].

Tabla 6.3: Costos estimados adicionales en el equipamiento de la red

Componente	Cantidad	Costo unitario (S/)	Subtotal (S/)
Cable <i>pigtail</i> -SC/APC SM G.657A2-0.9MM-1M	50	5.40	270.00
<i>Patchcords</i> FO 2H	2	20.00	40.00
Módulo SFP C+	2	149.00	298.00
Equipos de gestión de red (<i>routers</i>)	2	5 000.00	10 000.00
Panel de distribución (ODF) 12 puertos	1	141.00	141.00
Gabinete de piso 45U para centro de datos	1	2 320.00	2 320.00
Distribuidor de energía (PDU)	2	150.00	300.00
Sistema de estabilización y transformación de energía	1	500.00	500.00
Sistema de puesta a tierra	1	1 000.00	1 000.00
Total (S/)			16 320.00

Los elementos listados en la tabla están enfocados en brindar soporte, seguridad y estabilidad al centro de datos y su infraestructura eléctrica. El cable *pigtail* y los *patchcords* aseguran conexiones de alta precisión entre los dispositivos. El Módulo SFP y los equipos de gestión de red (*routers*) permiten una adecuada distribución y administración del tráfico de datos en la red.

Por otra parte, el gabinete de piso 45U es esencial para organizar y proteger los equipos en el centro de datos, manteniendo el orden y facilitando el mantenimiento. El distribuidor de energía (PDU) y el sistema de estabilización y transformación de energía son componentes críticos para la protección eléctrica, garantizando un suministro estable y seguro. Finalmente, el sistema de puesta a tierra proporciona seguridad adicional, minimizando riesgos eléctricos y protegiendo los equipos sensibles de posibles fallas de voltaje.

6.2. Costos estructura de la red

6.2.1. Costos estructura de la red en cámaras y ductos

Como se analizó en el capítulo 4, el uso de cámaras y ductos ofrece ventajas significativas para la red en términos de seguridad y facilidad de mantenimiento. La siguiente tabla muestra los costos estimados de los elementos que conforman esta estructura.

Tabla 6.4: Costos soporte de la estructura de red

Elemento	Cantidad	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)
Ducto HDPE Duraline	78.45km	2 000.00	156 900.00
Cámara tipo <i>Bulk 0</i>	22	80.00	1 760.00
Cámara tipo <i>Bulk 1</i>	60	110.00	6 600.00
Cámara tipo <i>Bulk 2</i>	113	150.00	16 950.00
Cámara tipo <i>Bulk 3</i>	37	220.00	8 140.00
Cámara tipo <i>Bulk 4</i>	29	400.00	11 600.00
Cámara tipo <i>Bulk 7</i>	5	800.00	4 000.00
Cámara tipo <i>Bulk 8</i>	1	1 000.00	1 000.00
Subtotal (S/)			206 950.00

El costo del ducto HDPE Duraline y de las diferentes cámaras tipo *bulk* se determinó a partir de referencias de mercado obtenidas de proveedores como Telmark Supply, especializado en productos para infraestructura de telecomunicaciones [23] y [102].

6.2.2. Costos adicionales en estructura de la red

Para asegurar la correcta instalación y estabilidad de la infraestructura de la red, se requieren elementos de soporte adicionales que faciliten el montaje y fijación de los componentes. La siguiente tabla desglosa los costos estimados de estos elementos, incluyendo herrajes y materiales auxiliares que aseguran un despliegue sólido y confiable de la red.

Tabla 6.5: Costos estimados adicionales en el soporte de la estructura de red

Elemento	Cantidad	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)
Soporte de montaje para caja de empalme	8	17.98	143.84
Soporte de montaje para caja de distribución	21	17.98	377.58
Soporte de montaje para caja FAT	336	17.98	6 041.28
Herraje de paso para ducto	14	10.80	151.20
Herraje de inicio y terminación ducto	534	59.20	31 612.80
Organizador de reserva para FAT	336	32.07	10 775.52
Herraje de tensión trébol	14	6.11	85.54
Cinta de nylon negra 10 cm x 0.5 cm con protección UV	700m	3.20	2 240.00
Total			51 427.76

En esta tabla se reflejan los elementos esenciales para el montaje y fijación de la estructura de soporte de la red. Los valores de cantidad para los soportes de montaje y los herrajes se han determinado en función de los despliegues máximos de acuerdo con la tipología propuesta en el capítulo 5. Esto incluye un total de 336 cajas FAT, considerando un máximo de 4 FATs por línea, 16 FATs por caja de distribución y 48 FATs por *cluster*, sumando un total de 7 *clusters*.

Para las cajas de empalme, se han considerado un total de 8, mientras que el número máximo de cajas de distribución es de 21. Los herrajes de inicio y terminación de ducto se calculan en base al número total de cámaras instaladas, que ascienden a 267, multiplicadas por 2 para representar ambos extremos del ducto. Por último, los herrajes de tensión se asignan en una proporción de 2 unidades por cada caja de empalme, asegurando una adecuada sujeción en la red [109].

6.3. Presupuesto para la implementación

6.3.1. Presupuesto para la implementación proceso constructivo

Estos presupuestos han sido calculados en base a los estándares recomendados y estudios previos, garantizando así una estimación precisa de los recursos necesarios.

Tabla 6.6: Presupuestos estimados proceso constructivo

Elemento	Cantidad	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)
Excavación de zanja	1 008 m ³	70.44	71 020.32
Relleno de zanja	1 008 m ³	41.82	42 144.96
Gestión del tráfico	113 165.28	10% del costo total	11 316.53
Restauración de superficies	113 165.28	15% del costo total	16 974.79
Permisos municipales	113 165.28	5% del costo total	5 658.26
Total			147 114.86

Para los cálculos de excavación y relleno de zanja, se ha seguido el estándar de profundidad y sección transversal sugerido por la ITU-T L.155, que establece una profundidad mínima de 30 cm y una sección transversal de 5 cm para zanjas en instalaciones de fibra óptica. Con base en estas especificaciones y considerando la longitud total de despliegue de los FATs, se ha calculado un volumen de excavación y relleno de 1,008 metros cúbicos, lo cual es fundamental para determinar los costos de estos elementos constructivos.

En cuanto a los costos de gestión del tráfico, restauración de superficies, y permisos municipales, estos valores fueron obtenidos mediante investigaciones previas y estudios de casos de proyectos similares, citando una tesis de referencia para respaldar la estimación de estos costos. La gestión del tráfico y la restauración de superficies se estiman como un porcentaje del costo total, al igual que los permisos municipales, aplicando un 10%, 15% y 5% respectivamente, según prácticas comunes en proyectos de infraestructura [110] y [109].

6.3.2. Presupuesto de instalación

Para asegurar la correcta instalación y estabilidad de la infraestructura de la red, se requieren elementos de soporte adicionales que faciliten el montaje y fijación de los componentes. La siguiente tabla desglosa los costos estimados de estos elementos, incluyendo herrajes y materiales auxiliares que aseguran un despliegue sólido y confiable de la red.

Tabla 6.7: Presupuesto de instalación

Elemento	Cantidad	Precio unitario (S/)	Subtotal (S/)
Instalación terminal de empalme	8	30.00	240.00
Conexión y empalme en la bandeja ODF	1	111.20	111.20
Soplado microcable	78 450	0.43/m	33 733.50
Instalación microcable y accesorios	78 450	0.55	43 147.50
Instalación caja de empalme	8	56.48	451.84
Manipulación caja de empalme	8	24.69	197.52
Instalación caja de distribución	21	42.76	897.96
Instalación de FAT	336	42.76	14 367.36
Conectorización FAT	336	1.20	403.20
Total (S/)			93 550.08

En esta tabla se reflejan los elementos esenciales para el montaje y fijación de la estructura de soporte de la red. Los valores de cantidad para los soportes de montaje y los herrajes se han determinado en función de los despliegues máximos de acuerdo con la tipología propuesta en el capítulo 5. Esto incluye un total de 336 cajas FAT, considerando un máximo de 4 FATs por línea, 16 FATs por caja de distribución y 48 FATs por *cluster*, sumando un total de 7 *clusters*.

Para las cajas de empalme, se han considerado un total de 8, mientras que el número máximo de cajas de distribución es de 21 [109] y [102].

6.4. Resumen de costos y presupuesto total del proyecto

En esta última sección se presenta un resumen consolidado de los costos del proyecto, englobando todas las secciones detalladas en este capítulo. Este resumen proporciona una visión integral de los recursos financieros necesarios para la implementación de la red óptica en el CHC, considerando cada componente desde la red troncal hasta los elementos de soporte e implementación [108].

Tabla 6.8: Costos estimados adicionales en el soporte de la estructura de red

Sección	Costo total (S/)
Costos de equipamiento de la red troncal	19 052.80
Costos de equipamiento de la red de distribución	134 629.74
Costos adicionales en el equipamiento de la red	16 320.00
Costos de la estructura de soporte de la red	206 950.00
Costos adicionales en el soporte de la estructura de red	51 427.76
Presupuesto del proceso constructivo	147 114.86
Presupuesto para la instalación	93 550.08
Gran total (S/)	669 045.24

Este presupuesto total ofrece una evaluación completa de los recursos económicos requeridos para el despliegue y operación del proyecto. Al incluir todos los aspectos esenciales, desde el equipamiento hasta los procesos constructivos y los elementos de soporte, se asegura que el proyecto pueda ser ejecutado con una base financiera sólida, alineada con los estándares de calidad y sostenibilidad previstos.

Además de los costos operativos y de implementación del proyecto, se realizó una estimación de los gastos asociados a la elaboración de esta tesis. Este desglose incluye costos de investigación, adquisición de materiales de soporte y otros recursos necesarios para el desarrollo del documento.

6.5. Costos de la realización de la tesis

Se adjuntan los costos para la realización de la tesis, ya que esta abarca el diseño del proyecto y, por ende, sus costos forman parte integral del mismo. Dado que la tesis tiene como objetivo desarrollar el diseño que sustenta este proyecto, resulta apropiado incluir dichos costos como parte del análisis presentado en este capítulo.

Tabla 6.9: Presupuesto tesis

Presupuesto del trabajo de tesis de grado					
Propuesta de diseño para el despliegue de redes ópticas en el marco regulatorio de zonas monumentales del Centro Histórico del Cusco					
ITEM	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
1.- Materiales de escritorio					
1.01	Papel	½ Millar	2	S/. 18.20	S/. 36,40
1.02	Útiles de escritorio	Global	Varios	S/. 100.00	S/. 100.00
1.03	Impresiones	Unid.	Varios	S/. 0.10	S/. 100.00
1.04	Copias	Unid.	Varios	S/. 0.10	S/. 100.00
1.05	Computadora estacionaria	Unid.	1	S/. 0.00	S/. 0.00
1.06	Laptop	Unid.	1	S/. 2500.00	S/.2500.00
1.07	Internet	Meses	12	80.00	S/. 960.00
2.- Desarrollo de investigación					
2.01	Gastos de transporte	Días	30	S/. 10.00	S/. 600.00
2.02	Viáticos	Días	30	S/. 30.00	S/. 900.00
2.03	Bibliografía	Global	1	S/. 200.00	S/. 200.00
3.- Desarrollo de diseño					
3.01	Gastos de transporte	Días	30	S/. 10.00	S/. 600.00
3.02	Viáticos	Días	30	S/. 30.00	S/. 900.00
3.03	Impresión de volumen	Global.	9	S/. 100.00	S/. 900.00
3.04	Bibliografía	Global	2	S/. 200.00	S/. 400.00
3.05	Software de simulación	Global.	1	S/. 350.00	S/. 350.00
3.06	Software especializado	Global.	1	S/. 1628.00	S/. 1628.00
3.07	Software de edición de texto	Meses	12	S/. 33.00	S/. 396.00
3.08	Alquiler de equipamiento	Semana	4	S/. 700.00	S/. 2800.00
4.- Otros					
4.01	Trámites administrativos	Global	1	S/. 562.00	S/. 562.00
4.02	Respaldo de almacenamiento en la nube	Global	1	S/. 0.00	S/. 0.00
4.03	Costos de encuadernación y presentación final	Global	1	S/. 200.00	S/. 200.00
4.04	Imprevistos	Global	1	S/. 200.00	S/. 200.00
Total:				S/ 14 432.40	

Capítulo 7

Validación de resultados

Este capítulo evalúa la viabilidad del diseño de la red de fibra óptica desarrollado para el **CHC**. Tras diseñar la red, este segmento se centra en la validación práctica del sistema, asegurando que cumpla con los requisitos técnicos y que responda adecuadamente a las variadas necesidades del entorno de acuerdo al marco regulatorio.

La validación se fundamenta en los criterios iniciales establecidos, considerando las múltiples tecnologías y servicios que podrían implementarse en el **CHC**. Esto implica el uso de componentes estándar, resaltando la capacidad del diseño para adaptarse a distintos tipos de servicios de telecomunicaciones. La revisión del diagrama unifilar detalla cada conexión y codificación en los puntos de acceso y terminación, ilustrando la estructura organizativa de la red. Adicionalmente, se realizan estimaciones de atenuaciones en los puntos más críticos de la red, desde el más cercano hasta el más lejano, para asegurar que la red funcione dentro de parámetros que garanticen un servicio eficiente. Estos escenarios son corroborados mediante simulaciones realizadas con *software* especializado como Optisystem versión 21.0, proporcionando una visión detallada del comportamiento de la red bajo condiciones operativas diversas, tanto típicas como extremas, revelando así su rendimiento potencial. A través de este análisis se demuestra que el diseño de la red es viable y está preparado para adaptarse y expandirse conforme a las necesidades futuras.

7.1. Bases para la validación

- Flexibilidad tecnológica: La estimación de atenuaciones debe ser suficientemente flexible para adaptarse a diversas tecnologías de transmisión. Esto asegura que el modelo propuesto pueda ser aplicado en diferentes contextos tecnológicos sin requerir ajustes mayores.
- Uso de una **ONT** genérica como receptor: Para los propósitos de este estudio, emplearemos una **ONT** genérica como punto de recepción. Nuestra red propuesta termina en las **FATs** como punto final de la red de distribución y no se extiende a la red de dispersión. Por tanto, la **ONT** será utilizada únicamente para simular la recepción de la señal en el extremo del usuario, demostrando que la red es perfectamente flexible para distintos tipos de receptores ópticos.
- Características flexibles de la **OLT**: En el otro extremo de la red, nuestra **OLT** debe poseer características que permitan su compatibilidad con distintos tipos de emisores, como C+ y B+, asegurando así la versatilidad y robustez del sistema en su conjunto.
- Rangos operativos adecuados: Se asegurará que los valores utilizados en el presupuesto óptico se mantengan dentro de rangos operativos realistas y adecuados. Esto incluye consideraciones sobre la potencia de salida del transmisor, las pérdidas por inserción, la atenuación en la fibra y cualquier otro componente que pueda influir en la integridad de la señal transmitida.

7.2. Diagrama unifilar de la red

El diagrama unifilar es esencial para obtener un mapeo preciso de nuestra red óptica, proporcionando una visión clara del recorrido de las fibras desde la primera caja de empalme hasta la última FAT instalada lo cual nos permite evaluar la composición de cada *cluster* y la escalabilidad potencial de estos elementos. Gracias a este nivel de detalle, podemos verificar la coherencia del diseño, facilitando el mantenimiento adecuado del sistema. La composición del diagrama detalla cada elemento de la red, catalogando cada mufa y exponiendo la disposición de cada fibra en los empalmes, conforme a la tabla 5.1. Este nivel de detalle permite trazar exactamente la ruta de la señal a través de la fibra desde la OLT hasta los puntos terminales, representados en este caso por el código de las FATs.

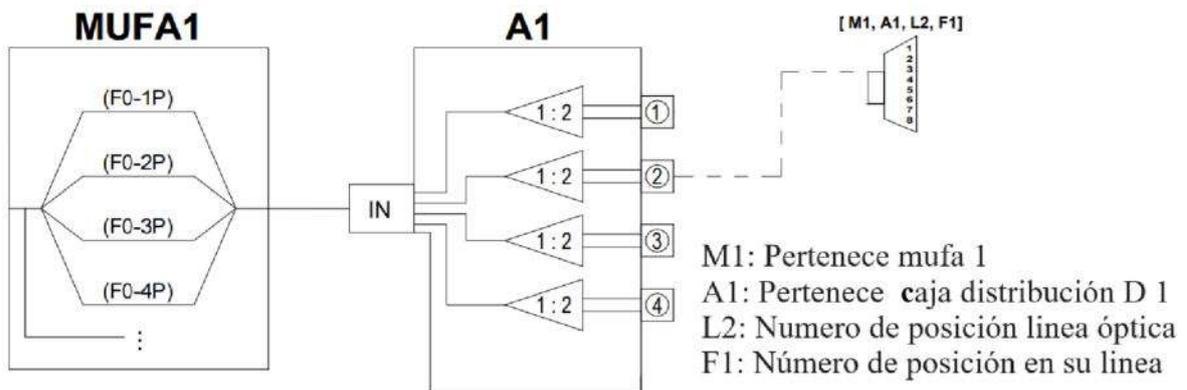


Figura 7.1: Ejemplo de codificación de FAT

Cada FAT está identificada de manera única mediante códigos específicos, los cuales se han diseñado para reflejar su secuencia en la red. Iniciando con el código de la mufa de origen, seguido por la caja de distribución correspondiente, el número de línea a la que está conectada y, finalmente, el número de posición de la FAT según el mapeo realizado en las tablas 5.2 y 5.3 del diseño de la red de distribución. Esta nomenclatura detallada asegura una identificación precisa y facilita la gestión técnica de cada punto de conexión.

7.2.1. Presentación del diagrama

Comenzamos nuestra exploración detallada con las mufas M1 y M2, elementos clave en la distribución inicial de nuestra red. A continuación, se presenta el diagrama unifilar que ilustra las conexiones específicas y la configuración de las mufas M1 y M2 (anexo N).

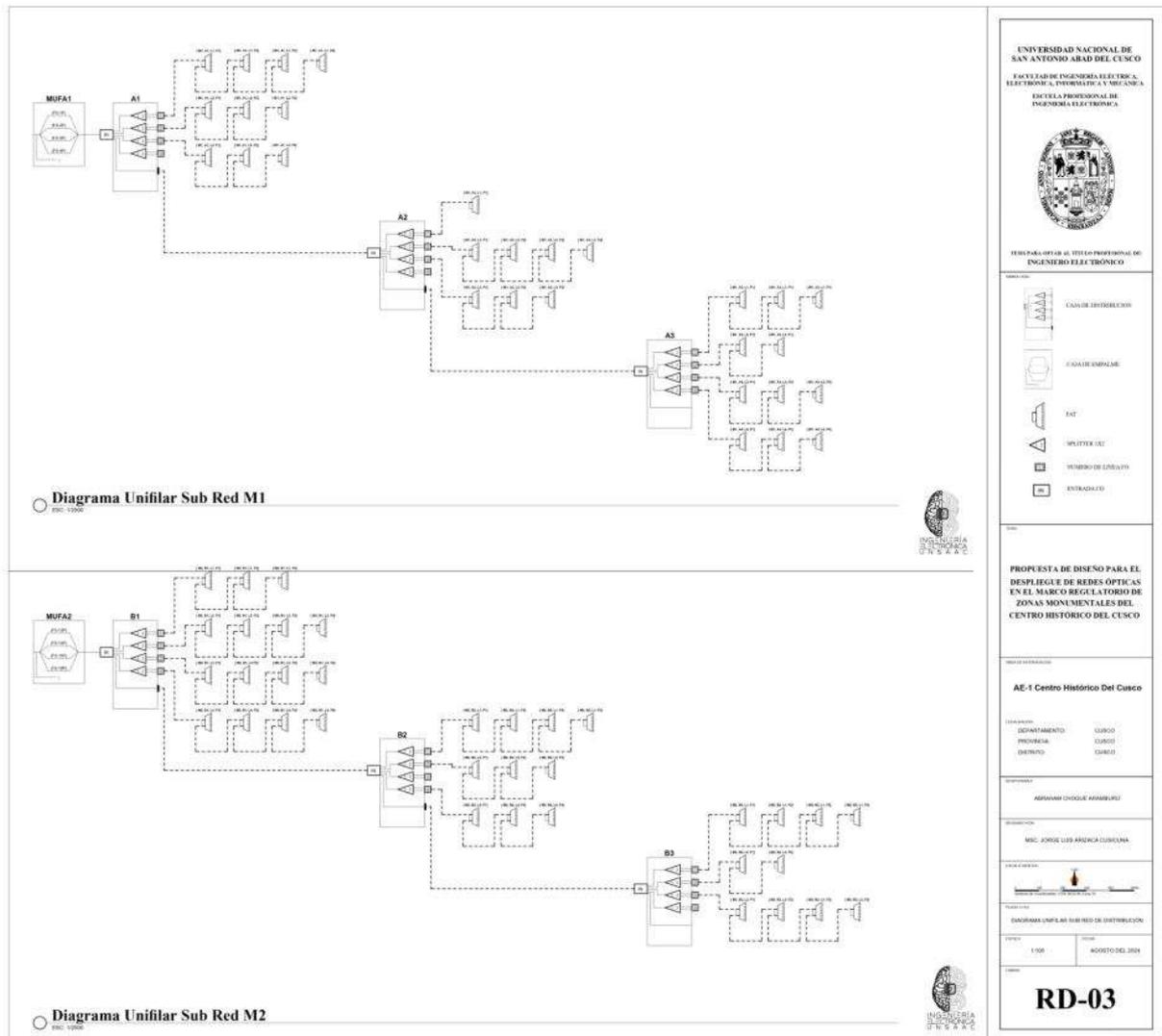


Figura 7.2: Diagrama unifilar mufa M1 y mufa M2

Visualizamos ahora las mufas M1 y M2 a través de imágenes detalladas que destacan cada componente y su disposición física.

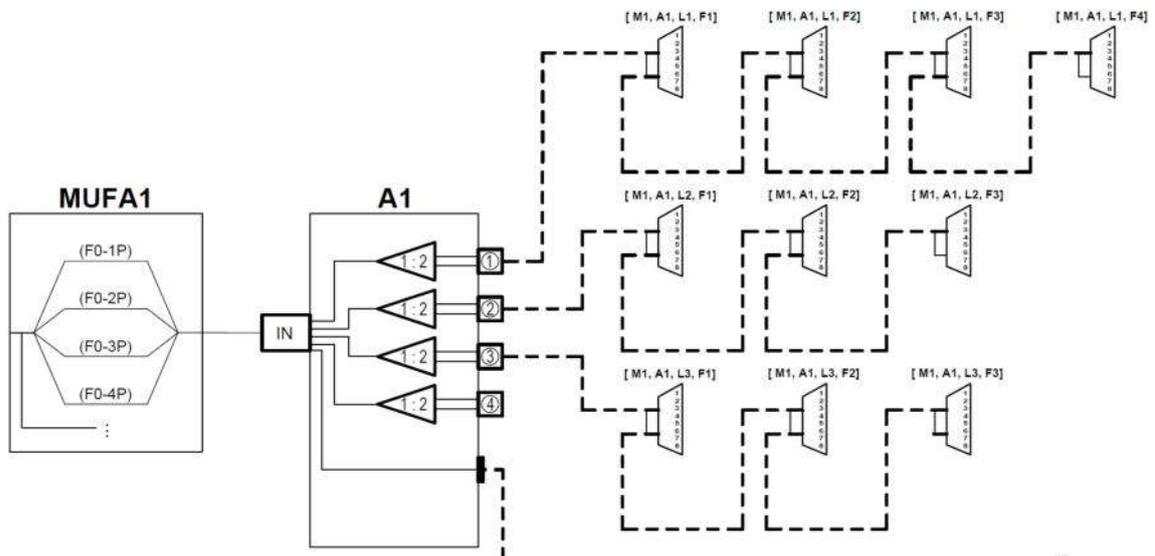


Figura 7.3: Imagen detallada de mufa M1 con *cluster* A1

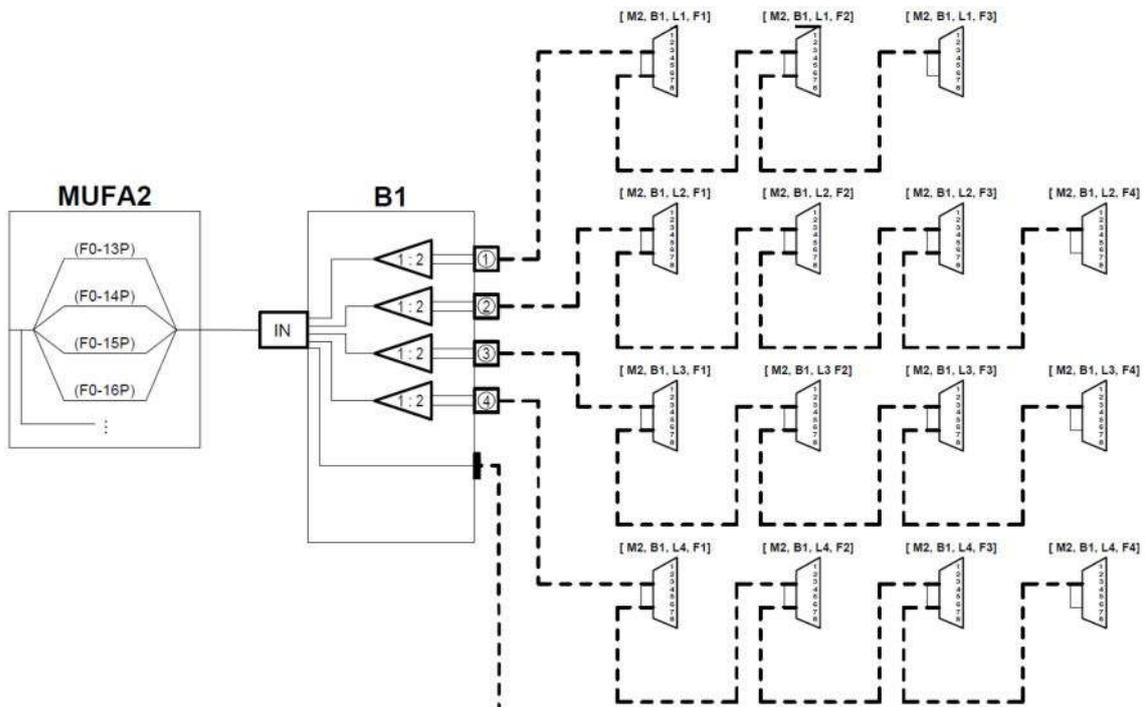


Figura 7.4: Imagen detallada de mufa M2 con *cluster* B1

Proseguimos con las mufas M3 y M4, avanzando hacia el corazón de nuestra infraestructura de red (anexo Ñ).

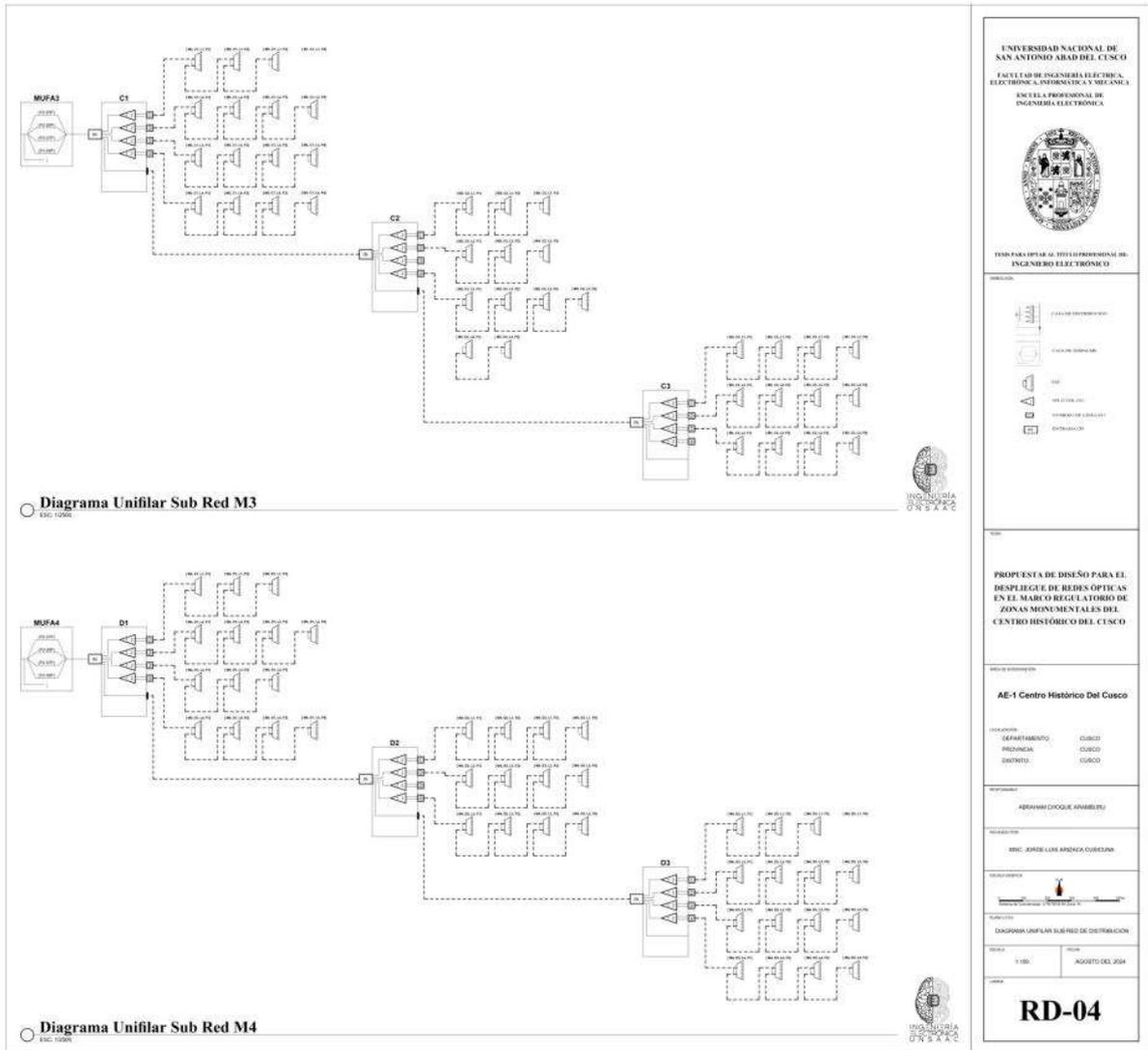


Figura 7.5: Diagrama unifilar mufa M3 y mufa M4

Observemos las imágenes cercanas de las mufas M3 y M4, proporcionando una perspectiva clara de su integración y funcionamiento.

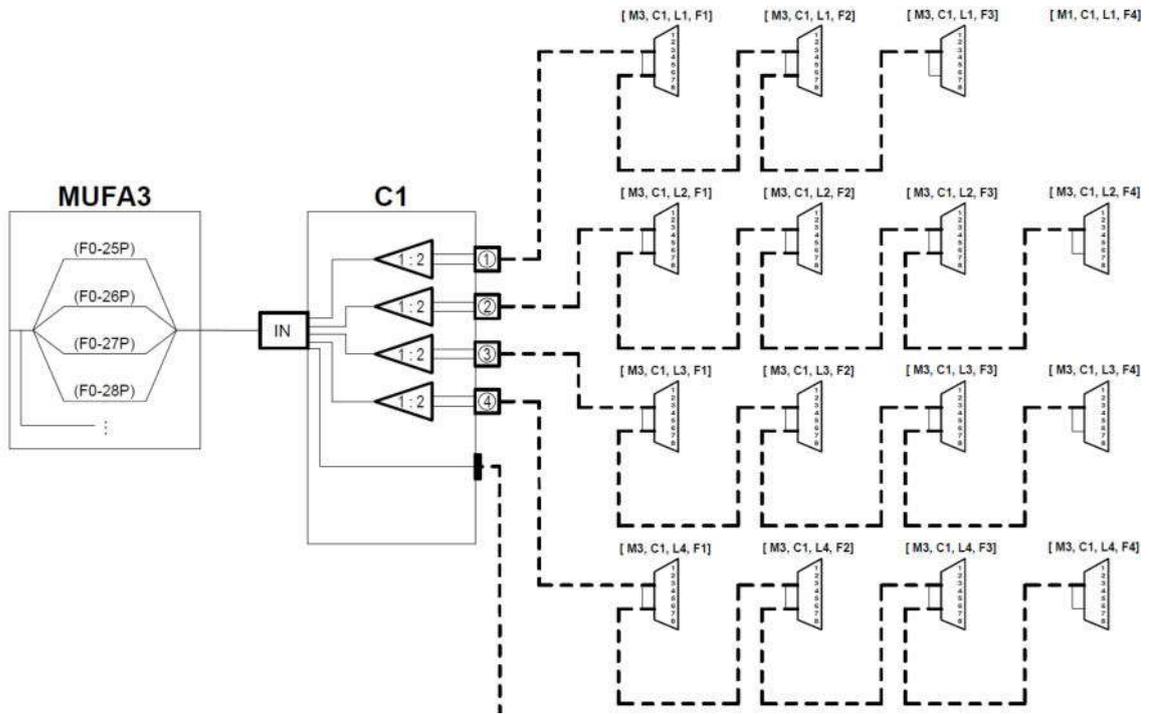


Figura 7.6: Imagen detallada de mufa M3 con *cluster* C1

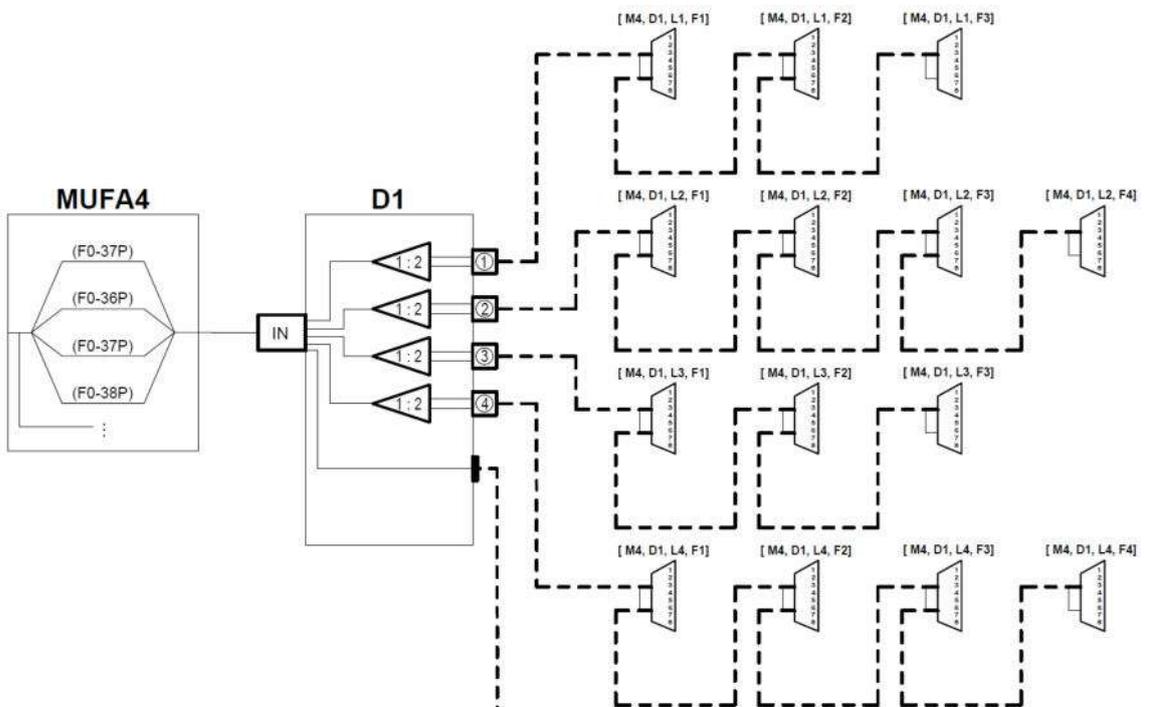


Figura 7.7: Imagen detallada de mufa M4 con *cluster* D1

Continuamos nuestra revisión con las mufas M5 y M6, piezas fundamentales para la expansión y adaptabilidad de la red. El diagrama unifilar a continuación detalla la interconexión entre las mufas M5 y M6, mostrando su importancia estratégica (anexo O).

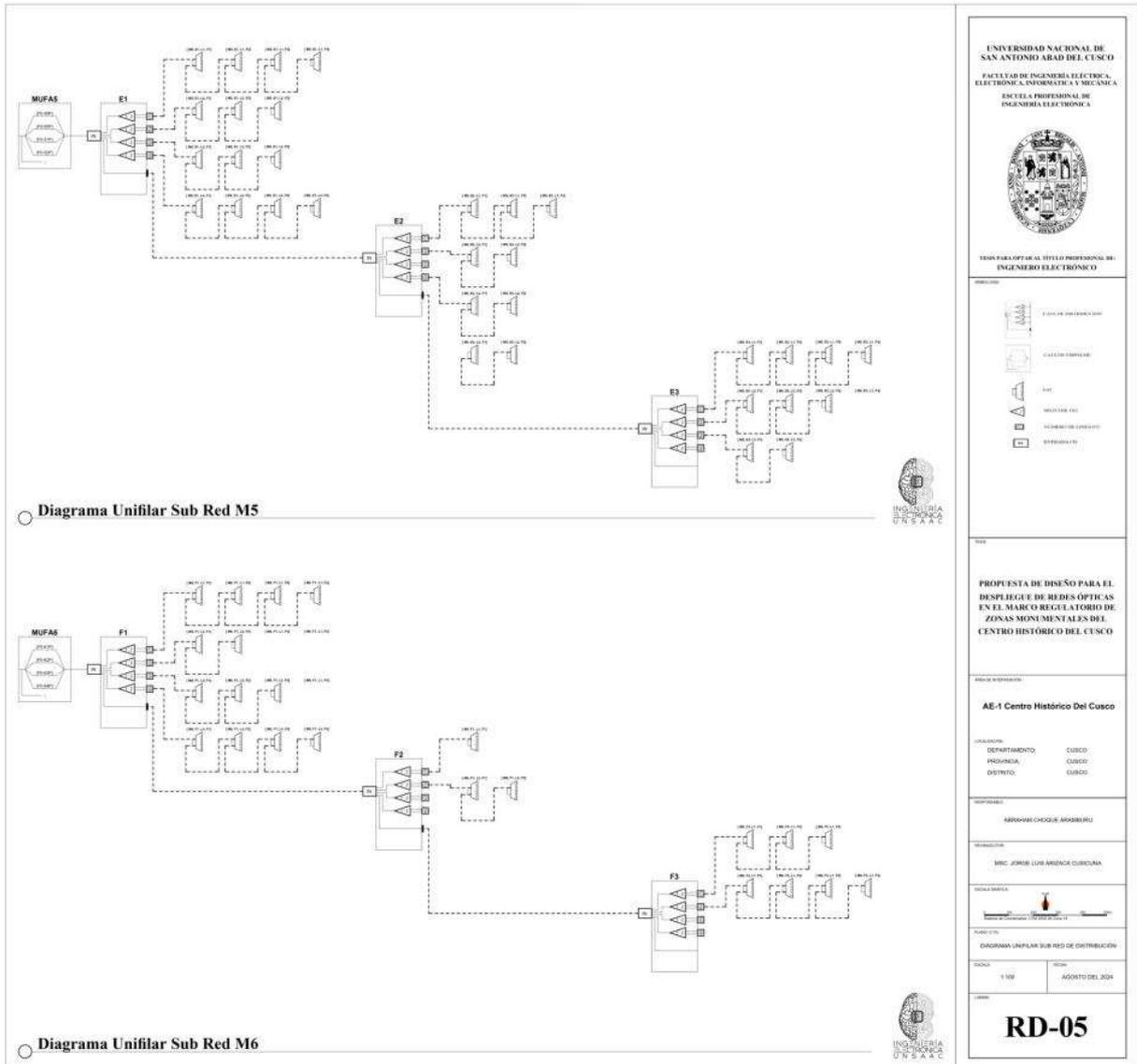


Figura 7.8: Diagrama unifilar mufa M5 y mufa M6

Las imágenes que siguen ofrecen un acercamiento preciso a las mufas M5 y M6, ilustrando sus características y configuraciones.

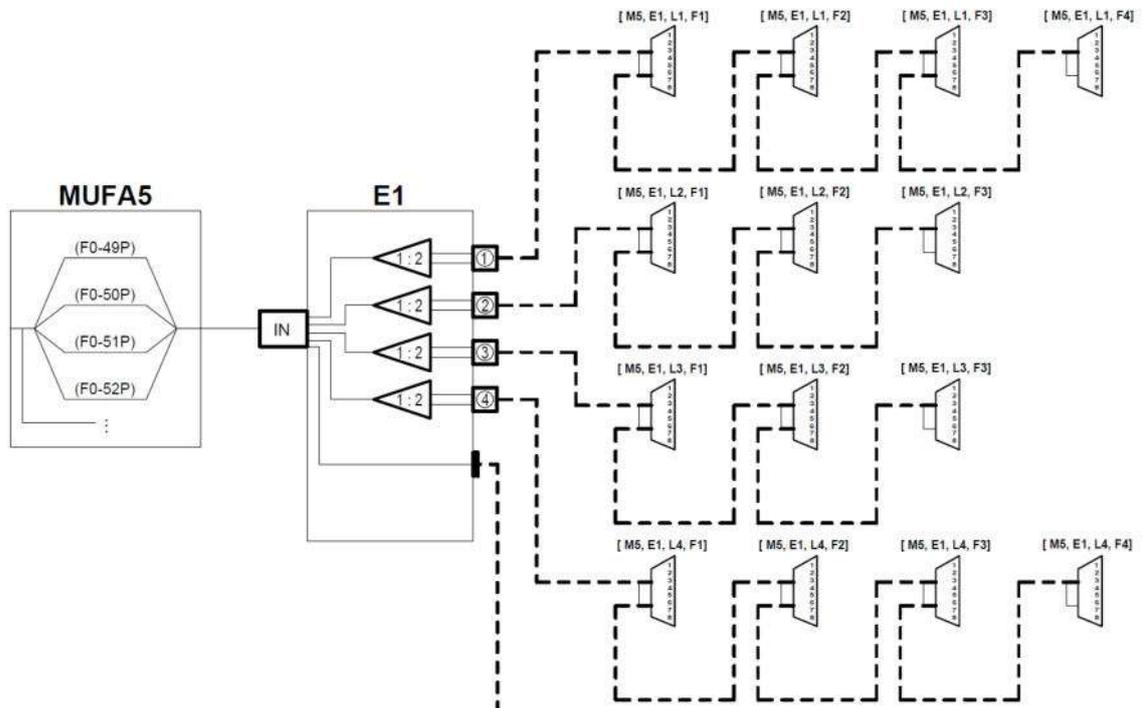


Figura 7.9: Imagen detallada de mufa M5 con *cluster* E1

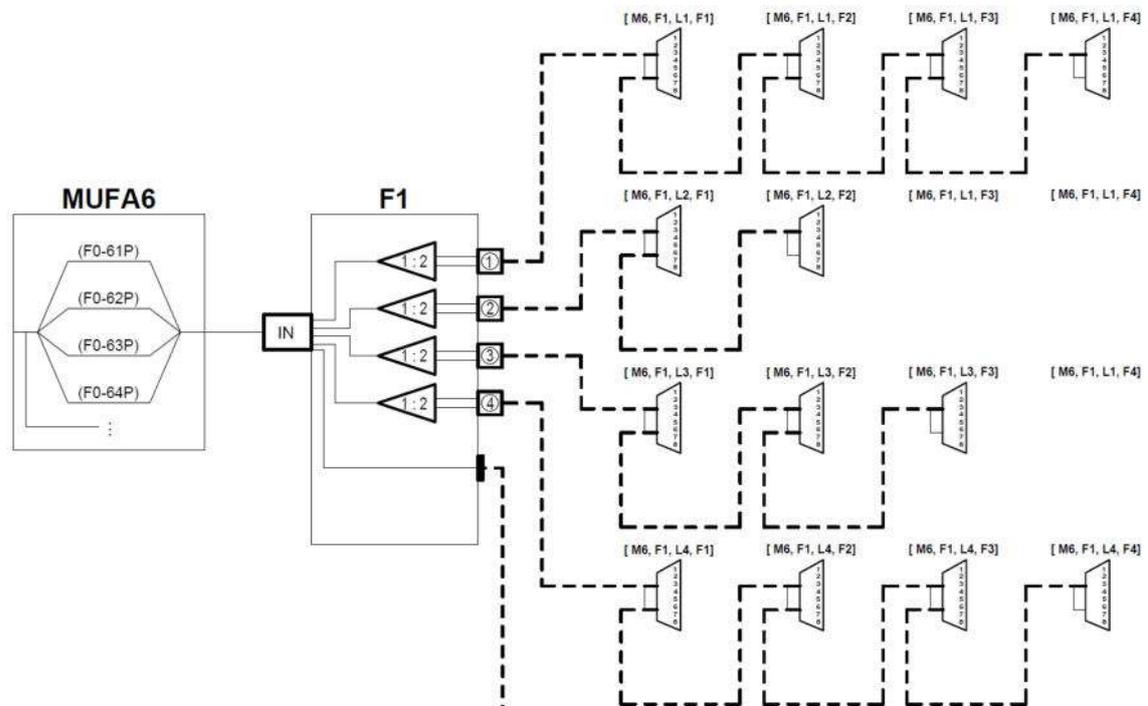


Figura 7.10: Imagen detallada de mufa M6 con *cluster* F1

Finalizamos con un enfoque en la mufa M7, un componente esencial que completa la estructura de nuestra red (anexo P).

Aquí se expone el diagrama unifilar de la mufa M7, subrayando su papel vital en la culminación del despliegue de la red.

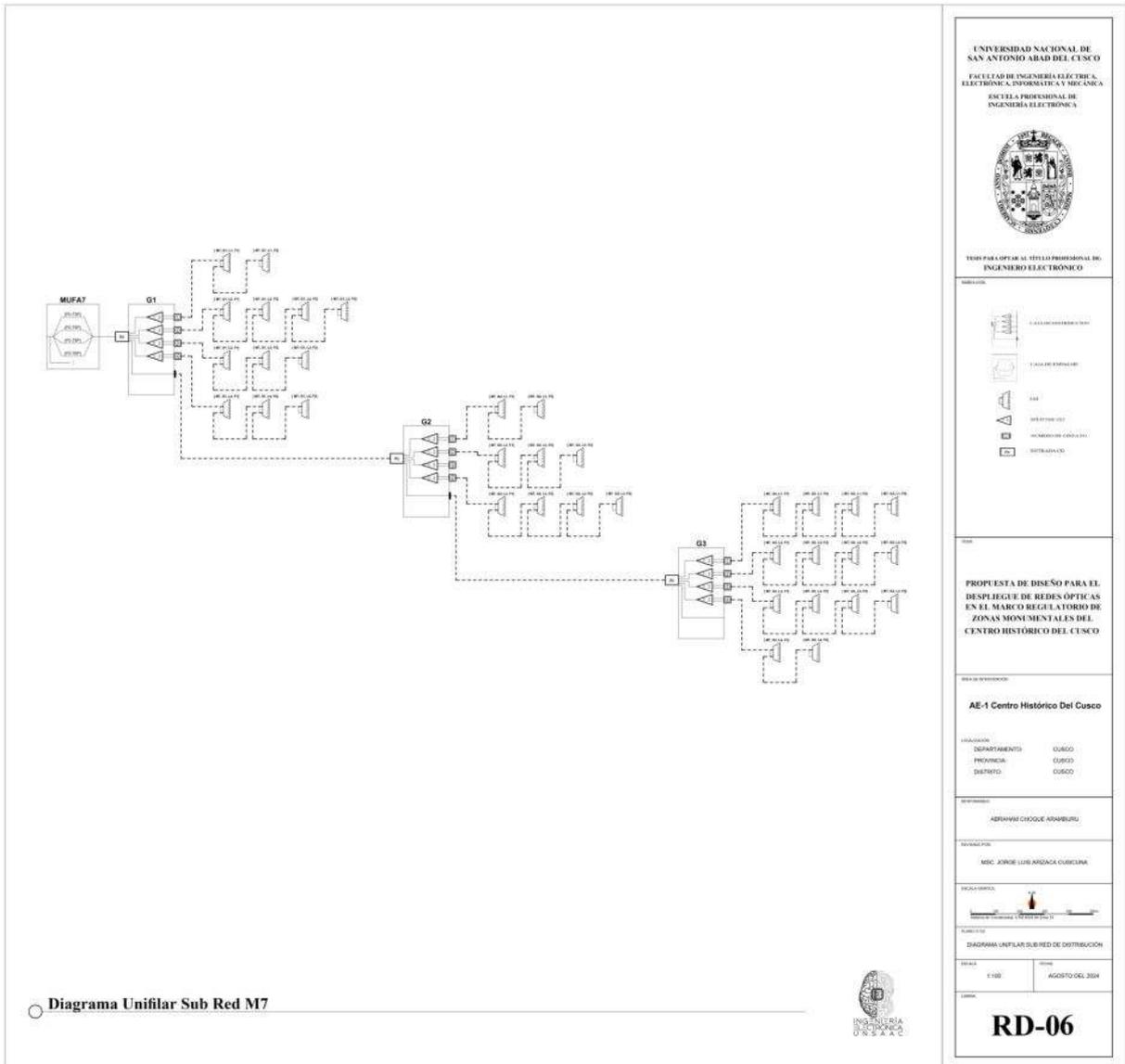


Figura 7.11: Diagrama unifilar mufa 7

Concluimos con imágenes detalladas de la mufa M7, que muestran su complejidad y su adaptación al entorno de red.

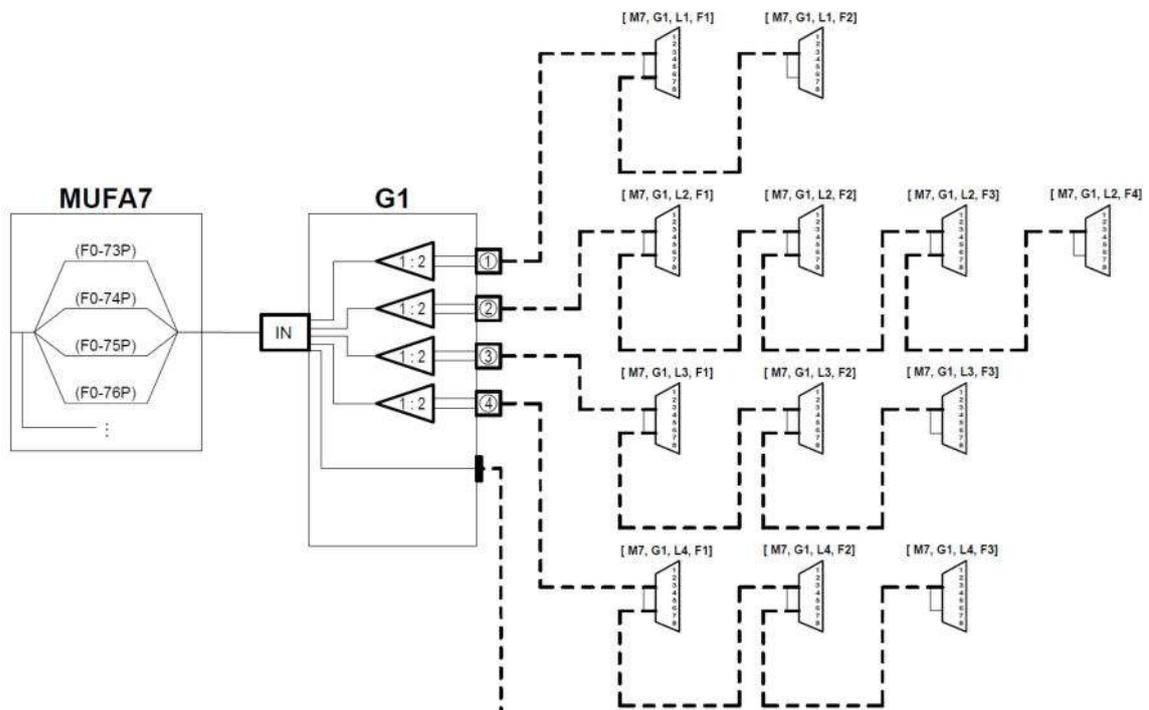


Figura 7.12: Imagen detallada de mufa M7 con *cluster* G1

Como se evidencia en la presentación del diagrama unifilar de toda la red y dada la considerable extensión de la misma, la principal preocupación radica en las atenuaciones resultantes de las distancias involucradas. Por esta razón, hemos decidido adoptar como criterio fundamental la realización de dos evaluaciones distintas del presupuesto óptico; una considerando la FAT más cercana y otra basada en la FAT más distante.

7.3. Estimación de atenuaciones

Para el cálculo y estimación de atenuaciones sumamos las pérdidas de energía que se producen a lo largo de un enlace dentro de la red óptica del CHC. Para calcular la atenuación completa en una red de fibra óptica utilizamos la fórmula 2.4 provista en el marco teórico del capítulo 2. La estimación del presupuesto de pérdidas se realizará siguiendo la conexión desde el la OLT hasta la FAT seleccionada, pero antes, analizaremos los componentes atenuantes en común:

- Pérdidas en la fibra óptica: En lo que respecta a la fibra óptica, conforme a la tabla 4.13 de compatibilidad presentado en el capítulo 4, hemos optado por la fibra MiniXtend equipada con la tecnología *Fast Access*, que emplea la tecnología SMF-28 y cuenta con 144 hilos en la red principal. De acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante, esta fibra satisface el estándar G.652 de la ITU-T y excede los requerimientos de la recomendación ITU G.657. Dichas normas indican que la atenuación podría variar entre 0.2 y 0.3 decibelios por kilómetro, en función de la longitud de onda y la tecnología empleada. Consecuentemente, para la coherencia del presente proyecto, hemos establecido una atenuación media de 0.25 decibelios por kilómetro para llevar a cabo las validaciones requeridas [2].
- Pérdidas por inserción: Las pérdidas por inserción en sistemas de fibra óptica pueden ser significativas, especialmente en conexiones y empalmes. De acuerdo con las recomendaciones de la ITU-T, en condiciones no aptas para la fusión de fibras, se recurre a empalmes mecánicos y conectores. Estos elementos son susceptibles de inducir pérdidas que varían entre 0.2 y 0.5 decibelios debido a posibles desalineaciones mínimas en las fibras. Estas pérdidas reducen la eficiencia del sistema y son una constante en todos los dispositivos que utilizan fibra óptica [2].
- Pérdidas por fusión: Considerando los rangos de atenuación entre 0.02 dB y 0.1 dB que dependen de la técnica. Consideramos atenuaciones cercanas a 0.1 decibelios [2].

- Pérdidas en los divisores: En el diseño descrito en el capítulo 2 de la tesis, se utilizan diversos tipos de divisores ópticos; un *splitter* 1 x 2 simétrico, *splitters* 1 x 2 asimétricos con división 30/70, y un *splitter* 1 x 8 simétrico. Las estimaciones de pérdidas por inserción para estos componentes incluyen que el *splitter* 1 x 2 simétrico tiene una atenuación de 3.8 dB; los *splitters* 1 x 2 asimétricos presentan atenuaciones de 6.0 dB para el 30 % y 1.9 dB para el 70 %; y el *splitter* 1 x 8 simétrico, una atenuación de 10.6 dB. Estos valores son fundamentales para el cálculo de presupuesto de potencia óptica en la red [2].
- Margenes: Se incorpora un margen de seguridad recomendado de 3 dB y se realiza una estimación en la posible red de dispersión de 2 dB, destacando que el análisis de esta última depende del tipo de servicio que se ofrece [2].

Por lo tanto, recopilando las atenuaciones de los componentes presentados, se tiene:

Tabla 7.1: Atenuación de componentes

Componente	Atenuación (dB)
Atenuación fibra óptica	0.25
Pérdida por inserción	0.35
Pérdida por fusión	0.1
<i>Splitter</i> 1x2 simétrico	3.8
<i>Splitter</i> 30/70 1x2 asimétrico 30%	6.0
<i>Splitter</i> 30/70 1x2 asimétrico 70%	1.9
<i>Splitter</i> 1x8 simétrico	10.6
Margen de seguridad	3.00
Red de dispersión	2.00

7.3.1. Estimación de atenuaciones en puntos extremos de la red

El diseño propuesto en el capítulo 5, refleja una envergadura considerable. Por lo tanto, para su validación, se considera puntos extremos de la red para el cálculo de sus atenuaciones.

7.3.1.1. Caso 1 estimación punto más cercano de la red

Para lograr este objetivo, es imprescindible disponer de un mapeo detallado de las conexiones y los equipos a lo largo del trayecto de la fibra hasta este punto. La herramienta principal para ello es nuestro mapa de diseño óptico, presentado en la figura 5.8. Gracias al diseño y al mapeo descriptivo de las tablas 5.2 y 5.3; hemos identificado topológicamente a la FAT más cercana, como se ilustra en la siguiente figura.



Figura 7.13: Plano ubicación topológica del punto más cercano

Habiendo identificado topológicamente a la FAT más cercana, es necesario disponer del diagrama de la línea óptica que conduce hasta dicha FAT. El diagrama unifilar es la herramienta esencial para este propósito, ya que nos permite conocer a través de qué equipos y cuántos de ellos transita la línea de fibra óptica para llegar a este punto, permitiéndonos así dimensionar las pérdidas y atenuaciones potenciales que pueda tener la transmisión. En la siguiente figura, presentamos la identificación de la FAT más cercana en el diagrama unifilar.

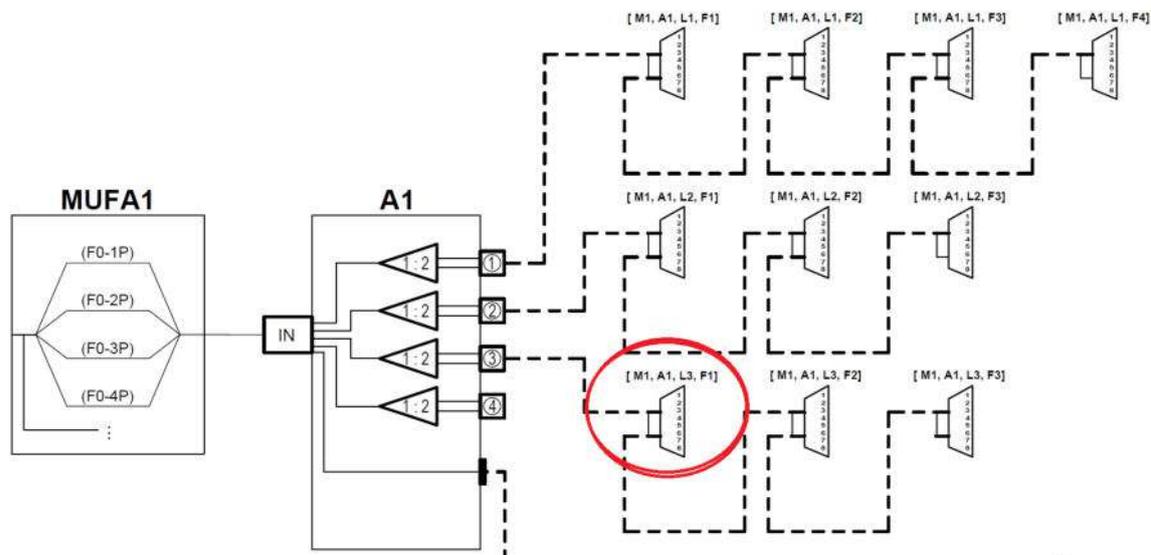


Figura 7.14: Mapeo unifilar de la FAT más cercana

Gracias a este diagrama, hemos identificado los componentes a través de los cuales transita la señal. La ruta específica se extiende desde la OLT hasta la FAT seleccionada, identificada con el código FAT [M1,A1,L3;F1].

Para calcular la distancia de recorrido, es necesario tomar en cuenta tanto los datos correspondientes a la longitud de reserva de la fibra óptica como los del tramo seleccionado.

La longitud de las reservas se origina de la troncal, la cual mide 4.5 kilómetros. Este dato se ha tenido en cuenta en el diseño detallado en el capítulo 5, fundamentado en el plano catastral oficial proporcionado por la MPC. Para la elaboración de este diseño, también se recurrió a *software* especializado en redes FTTx y a *Google Earth*, herramientas que permitieron una planificación más precisa y detallada.

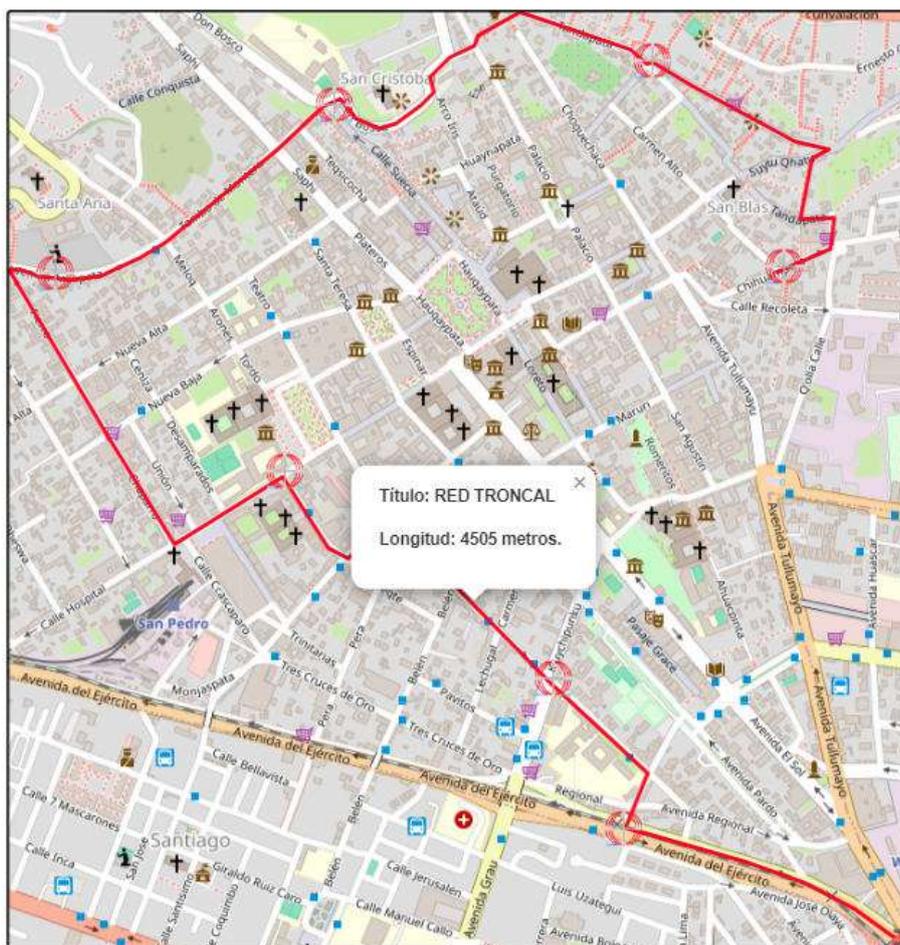


Figura 7.15: Longitud troncal tramo OLT - mufa 7 y caja de distribución G1

De acuerdo con los estándares internacionales, la reserva debe representar entre el 10% y el 30% del tendido total de la fibra. Calculando al 10%, se estima una longitud de reserva de 0.45 kilómetros. Esta cantidad se distribuye entre las 8 reservas existentes, incluyendo 7 mufas de distribución en la red y una reserva adicional en la OLT. Esto resulta en aproximadamente 56.2 metros por reserva, una longitud que coincide con las prácticas estándar en los tendidos de redes. Por consiguiente, para el cálculo en esta FAT, tenemos un total de 112.4 metros considerando las reservas en la OLT y en la mufa M1.

Posteriormente, definimos la distancia del tramo entre la OLT y la FAT, específicamente para la FAT [M1,A1,L3;F1].

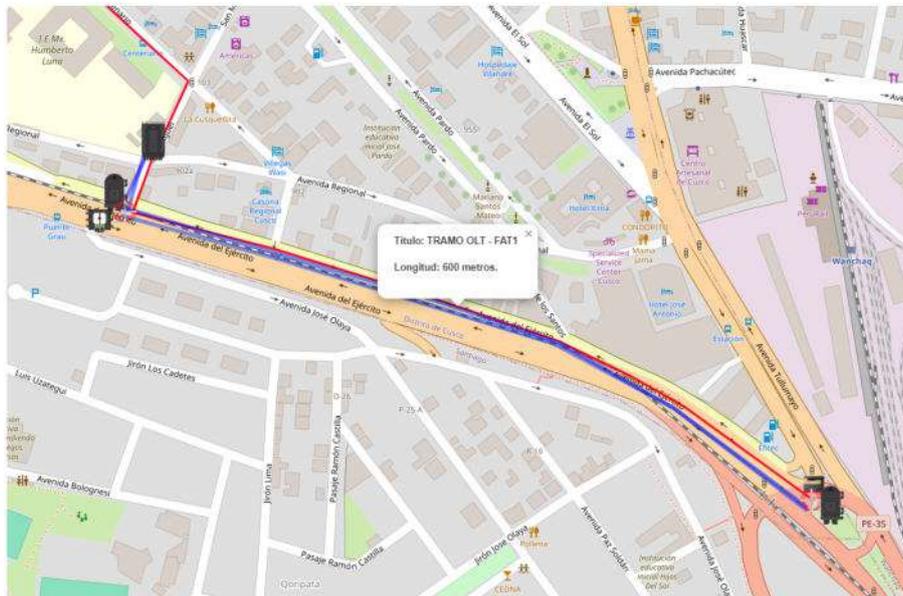


Figura 7.16: Longitud troncal tramo OLT - mufa 7 y caja de distribución G1

Lo cual, sumado con las reservas, nos da un total de 0.712 kilómetros. Esta medida debe ser multiplicada por el factor de atenuación de la fibra, que se considera en la tabla 7.2.

La estimación de pérdidas incluye las pérdidas ocasionadas por los *splitters* ubicados dentro de la caja de distribución A1 y la FAT específica, así como las pérdidas por inserción. Con todos los factores atenuantes claramente definidos, procedemos con nuestro cálculo.

Tabla 7.2: Estimación de atenuaciones caso 1

Elemento de red	Descripción de la pérdida	Cálculo	Subtotal
Recorrido FO	Σ (Reserva1 + tramo OLT-mufa + reserva2 + tramo mufa -FAT) * factor de pérdida dB/km	Σ (0.056 km + 0.56 km + 0.056 km + 0.04 km) * 0.25 dB/km	0.178 dB
OLT	Σ (Una fusión + pérdida por inserción + fusión en mufa de la primera reserva)	Σ (0.1 dB + 0.35 dB + 0.1 dB)	0.55 dB
Mufa1	Σ (Una fusión + pérdida por inserción)	Σ (0.1 dB + 0.35 dB)	0.45 dB
Caja de distribución	Σ (Un <i>splitter</i> 1x2 simétrico + pérdida por inserción)	Σ (3.8 dB + 0.35 dB)	4.15 dB
FAT	Σ (Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30% + <i>splitter</i> 1x8 simétrico)	Σ (6 dB + 10.6 dB)	16.6 dB
Margen	Margen	Σ (3 dB + 2 dB)	5 dB
Total de pérdidas			26.928 dB

7.3.1.2. Caso 2 estimación punto más lejano de la red

Este análisis es crucial, ya que presenta desafíos significativos debido al extenso recorrido de la fibra y las variadas atenuaciones que la señal puede experimentar a lo largo de ella. Al igual que en el caso anterior, utilizamos el plano de la red óptica de la figura 5.8 que gracias a la tabla 5.3, nos permite identificar la ruta de la fibra hasta la terminal más lejana:

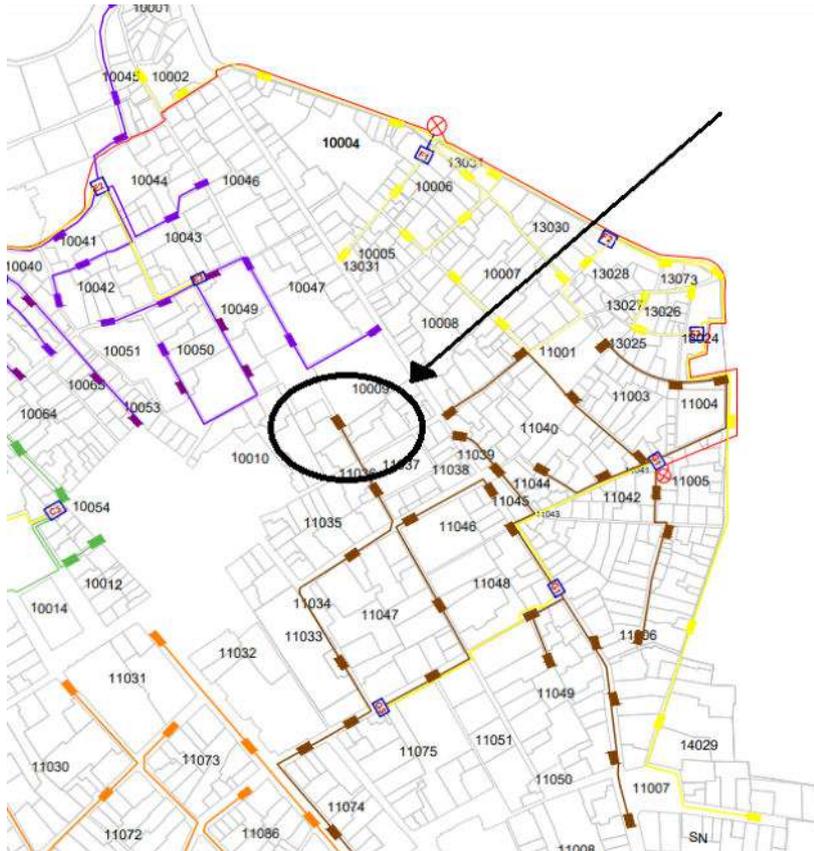


Figura 7.17: Plano ubicación topológica del punto más lejano

Posteriormente, realizamos el mapeo en el diagrama unifilar presentado en secciones anteriores para identificar todo el recorrido de la fibra.

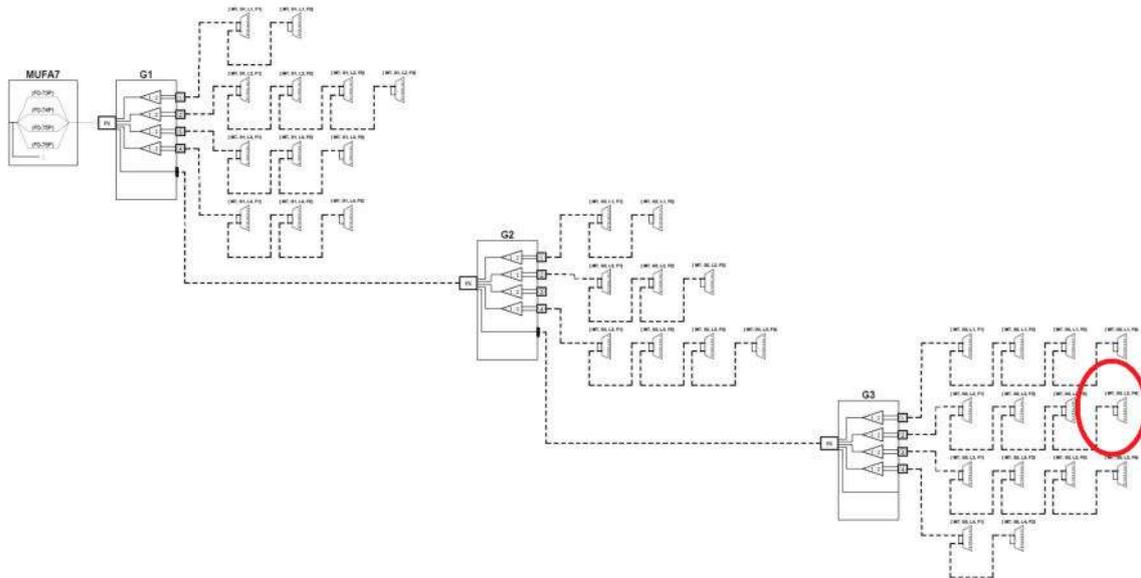


Figura 7.18: Mapeo unifilar de la FAT más lejana

En el diagrama unifilar se observa que la FAT está ubicada al final del trayecto, después de pasar por tres FATs previas. Se consideran todas las atenuaciones de los *splitters* desbalanceados ubicados en cada FAT, teniendo en cuenta que cada FAT precedente utiliza como conexión la salida de mayor potencia del *splitter* desbalanceado, en este caso el 70%, que en decibelios es 1.9 dB. Esto se suma por cada FAT que precede; sin embargo, para la cuarta FAT, es decir, su propio *splitter*, se considera una atenuación de 10.6 dB, puesto que en esta última FAT se utiliza un *splitter* simétrico para sus ocho salidas, resultando en una atenuación total a lo largo de las FATs de 16.3 dB.

Para calcular la distancia total del recorrido, consideramos inicialmente la longitud total de la troncal, provista en la figura 7.15. Sumamos el total de ocho reservas siendo cada una ellas de longitud 0.056 kilómetros, resultando en un total de 0.45 kilómetros.

Posteriormente, la distancia desde la mufa 7 hasta la caja de distribución G1 es considerada despreciable, ya que en el diseño presentado en el capítulo 5, ambas están ubicadas dentro de la misma cámara *Bulk 4* (ver plano 5.20 de distribución de cámaras). Esto nos deja con el tramo final hasta la OLT, pasando por los equipos anteriormente mencionados, para lo cual se adjunta una imagen detallada desde la caja distribución G1 hasta FAT 4.

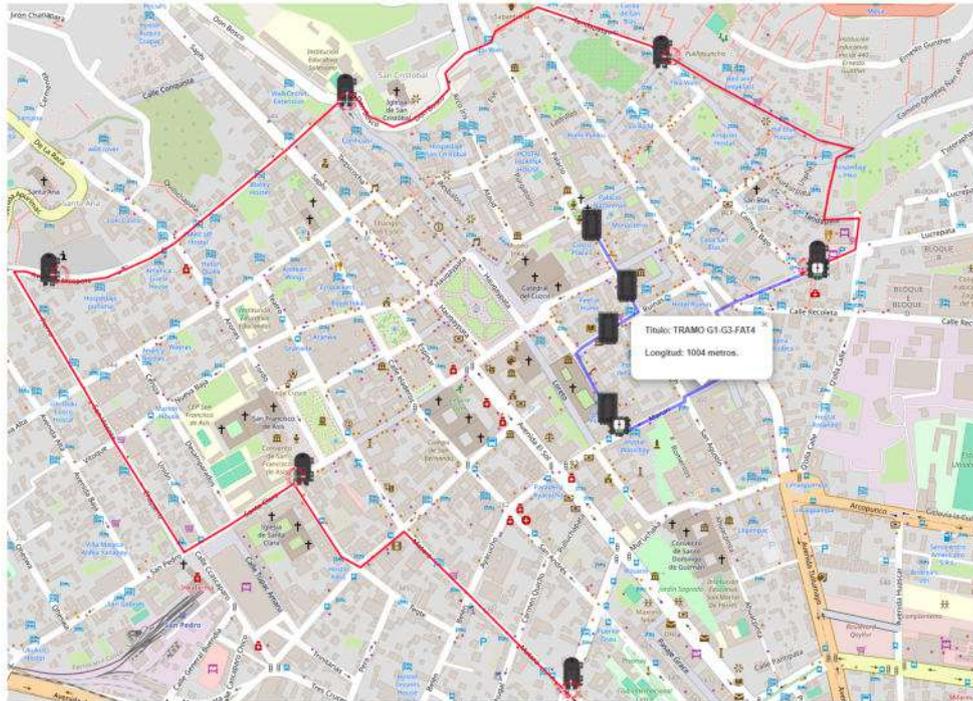


Figura 7.19: Longitud troncal tramo OLT - mufa 7 y caja de distribución G1

Con estos datos recopilados, obtenemos nuestros cálculos para la estimación de atenuaciones, tomando como referencia el punto más lejano de la red óptica.

Tabla 7.3: Estimación de atenuaciones caso 2

Elemento de red	Descripción de la pérdida	Cálculo	Subtotal
Recorrido FO	Σ (Recorrido troncal + 8 reservas + tramo caja de distribución G1-G3 hasta FAT4) * 0.25 dB/km	Σ (4.5 km + 0.45 km + 1.0 km) * 0.25 dB/km	1.48 dB
OLT	Σ (Una fusión + pérdida por inserción + fusión mufa primera reserva)	Σ (0.1 dB + 0.35 dB + 0.1 dB)	0.55 dB
Mufa7	Σ (Una fusión + pérdidas por inserción)	Σ (0.1 dB + 0.35 dB)	0.45 dB
CD G3	Σ (Un <i>splitter</i> 1x2 simétrico + pérdidas por inserción)	Σ (3.8 dB + 0.35 dB)	4.15 dB
Margen	Σ (Seguridad + red de distribución)	Σ (3 dB + 2 dB)	5.00 dB
Mufa 1	Perdidas por fusión	0.10 dB	0.10 dB
Mufa 2	Perdidas por fusión	0.10 dB	0.10 dB
Mufa 3	Perdidas por fusión	0.10 dB	0.10 dB
Mufa 4	Perdidas por fusión	0.10 dB	0.10 dB
Mufa 5	Perdidas por fusión	0.10 dB	0.10 dB
Mufa 6	Perdidas por fusión	0.10 dB	0.10 dB
CD G1	Perdidas por inserción	0.35 dB	0.35 dB
CD G2	Perdidas por inserción	0.35 dB	0.35 dB
FAT1	Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30%	1.9 dB	1.90 dB
FAT2	Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30%	1.9 dB	1.90 dB
FAT3	Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30%	1.9 dB	1.90 dB
FAT4	Un <i>splitter</i> 1x8 simétrico	10.6 dB	10.6 dB
Total de pérdidas			29.230 dB

La distancia máxima calculada, que refleja la flexibilidad en la ubicación de las cajas y el uso de reservas en la red de distribución, es de 6.65 kilómetros desde la OLT hasta la FAT 4, identificada con el código FAT [M7,G3,L2,F4]. Esta longitud incluye segmentos de 300 metros desde la mufa 7 hasta la caja de distribución G1, que se desprecia en el diseño, más 300 metros adicionales desde la caja de distribución G1 hasta la caja de distribución G2, y otros 300 metros desde la caja de distribución G2 hasta la caja de distribución G3, sumando un despliegue máximo de 900 metros dentro de su propio *cluster* o subred. Además, se calcula una distancia de 200 metros desde su caja de distribución hasta la primera FAT de la línea 2, como se ilustra en el diagrama unifilar, con distancias máximas adicionales de 200 metros entre FAT 1 y FAT 2, 200 metros entre FAT 2 y FAT 3, y finalmente 200 metros desde la tercera FAT hasta la mencionada FAT, acumulando un total de 800 metros exclusivamente en su *cluster* G3. Estos cálculos de distancia, que reflejan situaciones extremas, permiten un cálculo de atenuaciones de 29.4125 dB, un parámetro aceptable aunque no coincida exactamente con las distancias del diseño original, demostrando la viabilidad de la red en condiciones extremas de flexibilidad y aumento de distancias en dicha subred. Las distancias de 200 y 300 metros utilizadas en los cálculos reflejan prácticas estándar en la industria de redes ópticas, comúnmente adoptadas para optimizar el presupuesto óptico y la eficiencia de la red. Estas medidas están basadas en *benchmarks* de desempeño y recomendaciones generales en el campo de la tecnología de fibra óptica.

7.4. Cálculo de potencias

Las estimaciones realizadas en el análisis de atenuaciones evidencian una notable compatibilidad con diversos tipos de emisores láser, en particular, las categorías B+ y C+ definidas al comienzo de este capítulo. Esta compatibilidad subraya la versatilidad de la red y su capacidad para adaptarse al entorno único del CHC, donde la preservación del patrimonio y la integración arquitectónica son cruciales.

La alineación de nuestras estimaciones con los estándares internacionales de máxima atenuación permitida, como los dictados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones,

refuerza la fiabilidad y la robustez de nuestra propuesta de diseño. La conformidad con estos estándares se detalla en la siguiente tabla, que compila los umbrales de atenuación aceptables para asegurar la calidad y la integridad de la señal a lo largo de la red.

La siguiente tabla presenta una recopilación de las potencias de emisión y los niveles de degradación, ambos expresados en decibelios, para las tecnologías B+ y C+ en diversas longitudes de onda. También, incluye la sensibilidad de recepción de los equipos, especificando los rangos mínimo, máximo y medio permitidos según los estándares internacionales.

Tabla 7.4: Especificaciones de potencia y sensibilidad marco regulatorio internacional [2]

Especificaciones de potencia y sensibilidad para tecnologías B+ y C+			Potencia de emisión (dBm)	Recepción				
				B+		C+		
				Sensibilidad (dBm) en OLT/ONT	Atenuación máxima (dB)	Sensibilidad (dBm) en OLT/ONT	Atenuación máxima (dB)	
Emisión	B+	OLT	Min	1.50	-27.00	28.00	-30.00	31.00
			Max	5.00	-27.00	31.50	-30.00	34.50
			Media	3.25	-27.00	29.75	-30.00	32.75
	C+	ONT	Min	0.50	-28.00	28.00	-32.00	32.00
			Max	5.00	-28.00	32.50	-32.00	36.50
			Media	2.75	-28.00	30.25	-32.00	34.25
Emisión	B+	OLT	Min	3.00	-27.00	29.00	-30.00	32.00
			Max	7.00	-27.00	33.00	-30.00	36.00
			Media	5.00	-27.00	31.00	-30.00	34.00
	C+	ONT	Min	0.50	-28.00	28.00	-32.00	32.00
			Max	5.00	-28.00	32.50	-32.00	36.50
			Media	2.75	-28.00	30.25	-32.00	34.25

Esta tabla detalla las especificaciones de potencia de emisión y atenuación máxima permitida para las tecnologías B+ y C+, con valores que oscilan entre 1.50 dBm y 5.00 dBm para B+ y 3.00 dBm a 7.00 dBm para C+, con atenuaciones máximas de 31.50 dB y 33.00 dB, respectivamente. Estos valores, especificados en la norma ITU-T G.984, reflejan los estándares internacionales que nuestra red está diseñada para cumplir.

Calculamos la potencia resultante, que se obtiene restando nuestras estimaciones de atenuación a la potencia de emisión mencionada. Esta operación debe garantizar que la potencia resultante sea igual o superior a la potencia de sensibilidad de recepción requerida para las tecnologías B+ y C+, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$P_{\text{rec}} \leq P_{\text{trans}} - L_{\text{tot}} \quad (7.1)$$

Donde:

P_{rec} : Potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo.

P_{trans} : Potencia de emisión.

L_{tot} : Total de pérdidas acumuladas.

Usamos esta ecuación para validar la efectividad de la red en condiciones operativas diversas, incluyendo los puntos extremos; más cercanos a la red y más lejanos de la red.

Así obtenemos todas las potencias ópticas recibidas:

Tabla 7.5: Validación de enlaces de la propuesta de diseño

Enlace	Nivel de potencia ~	Potencia de emisión (dBm)	Sensibilidad potencia mínima de recepción (dBm) B+	Sensibilidad potencia mínima de recepción (dBm) C+	Estimación de atenuación en la red (dB)	Potencia resultante (dBm)	Estado del enlace de red
Enlace punto más cercano OLT B+ FAT [M1,A1,L3;F1]	Min	1.50	-27.00	-30.00	26.928	-25.428	Validado
	Max	5.00	-27.00	-30.00	26.928	-21.928	Validado
	Media	3.25	-27.00	-30.00	26.928	-23.678	Validado
Enlace punto más cercano OLT C+ FAT [M1,A1,L3;F1]	Min	3.00	-27.00	-30.00	26.928	-23.928	Validado
	Max	7.00	-27.00	-30.00	26.928	-19.928	Validado
	Media	5.00	-27.00	-30.00	26.928	-21.928	Validado
Enlace punto más lejano OLT B+ FAT [M7,G3,L2;F4]	Min	1.50	-27.00	-30.00	29.230	-27.730	Validado
	Max	5.00	-27.00	-30.00	29.230	-24.230	Validado
	Media	3.25	-27.00	-30.00	29.230	-25.980	Validado
Enlace punto más lejano OLT B+ FAT [M7,G3,L2;F4]	Min	3.00	-27.00	-30.00	29.230	-26.230	Validado
	Max	7.00	-27.00	-30.00	29.230	-22.230	Validado
	Media	5.00	-27.00	-30.00	29.230	-24.230	Validado

Estos resultados evidencian que los enlaces a diferentes potencias y tecnologías están dentro de los rangos aceptables de acuerdo al marco regulatorio internacional.

7.5. Simulación

En este capítulo, introducimos la herramienta de simulación computacional Optisystem, seleccionada para validar la red óptica diseñada. La simulación tiene como objetivo principal evaluar la red en escenarios específicos; el punto más lejano y el punto más cercano, identificados en los análisis previos de atenuaciones y potencias. Estos escenarios nos permitirán explorar la efectividad del diseño bajo condiciones operativas diversas y críticas.

Comenzaremos estableciendo los parámetros clave que la simulación debe cumplir para asegurar que la validación se ajuste a los estándares internacionales. Este marco normativo guiará el proceso de simulación para mantener la coherencia con los requisitos globales y las expectativas de rendimiento.

Posteriormente, se describirá cómo los equipos reales son representados dentro del entorno virtual. Esta representación es esencial para simular con precisión las interacciones y el comportamiento de la red óptica bajo diferentes condiciones de prueba. Finalmente, el capítulo detallará la ejecución de la simulación y la presentación de los resultados, mostrando la validación del diseño de la red.

7.5.1. Modelado y configuración de la simulación

7.5.1.1. Transmisor del señal óptica

En el entorno de simulación, la elección del transmisor óptico debe garantizar resultados apropiados. A continuación, presentamos el modelo seleccionado para nuestras prueba:

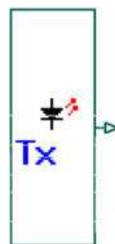


Figura 7.20: Simulación del emisor [25]

Esta figura ilustra la representación del transmisor óptico, con multiplexación por división de longitud de onda usado en entornos de enlaces óptico. Debido a que únicamente probaremos un enlace por caso, se ha configurado para operar en condiciones específicas. Este transmisor ha sido seleccionado por su capacidad para adaptarse eficazmente a las exigencias de nuestro entorno de red, ofreciendo una flexibilidad para la transmisión de señales ópticas.

La configuración detallada de este transmisor se muestra a continuación, proporcionando una visión de los parámetros técnicos que definen su operatividad y rendimiento dentro de la simulación.

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	Number of output ports	1		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Frequency	1490	nm	Normal
<input type="checkbox"/>	Frequency spacing	100	GHz	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Power	7	dBm	Normal
<input type="checkbox"/>	Extinction ratio	10	dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Linewidth	10	MHz	Normal
<input type="checkbox"/>	Initial phase	0	deg	Normal

Figura 7.21: Configuración general del emisor simulado [25]

Los parámetros seleccionados, como la frecuencia de 1490 nm, son típicos de una ventana de transmisión óptica ampliamente utilizada. Además, la potencia de salida de 7 dBm será ajustada en pruebas subsecuentes para validar la comunicación con distintas tecnologías de transceptores, como las versiones B+ y C+. El espaciado de frecuencia de 100 GHz ha sido elegido para minimizar la interferencia entre canales adyacentes, y una relación de extinción de 10 dB es implementada para garantizar una clara distinción entre los estados lógicos, lo que es esencial para mantener bajas las tasas de error en la transmisión de datos.

7.5.1.2. Receptor de la señal óptica

El receptor es determinante en la validación de resultados sobre todo para el análisis del diagrama de ojo, su configuración debe ser conforme al marco regulatorio internacional.

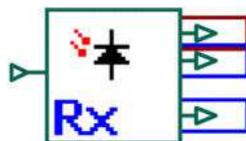


Figura 7.22: Simulación del receptor [25]

La siguiente figura proporciona la configuración general de los parámetros técnicos que definen su operatividad y rendimiento dentro de la simulación. Es importante mencionar que el seteo de su sensibilidad de recepción debe estar alineada de acuerdo a los máximos valores permitidos tal y como describe la tabla 7.4.

Dis	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Number of output ports	1		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Frequency	1490	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Frequency spacing	100	GHz	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Power	5	dBm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Extinction ratio	10	dB	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Linewidth	10	MHz	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Initial phase	0	deg	Normal

Figura 7.23: Configuración general del receptor simulado [25]

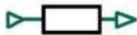
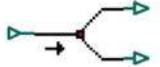
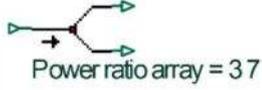
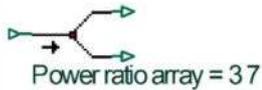
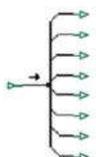
Los ajustes seleccionados para los parámetros del receptor óptico en nuestra simulación han sido estratégicamente definidos para optimizar la eficiencia de recepción:

- Número de puertos de salida: 1 - Es evidente que para validar un enlace se opta por un solo puerto de salida para simplificar la estructura del receptor y mejorar la eficiencia en el procesamiento de señales.
- Frecuencia: 1490 nm - Esta frecuencia se sincroniza con la del transmisor para facilitar una captura efectiva de la señal, aprovechando una longitud de onda común en las aplicaciones de fibra óptica.
- Espaciado de frecuencia: 100 GHz - Este espaciado entre frecuencias previene interferencias entre canales contiguos, crucial para mantener la claridad de la transmisión.

- Potencia: 5 dBm - Este nivel de potencia indica la intensidad con la que la señal es recibida, calibrada para evaluar con precisión la pérdida de señal durante la transmisión.
- Relación de extinción: 10 dB - Una relación de este nivel asegura una discriminación efectiva entre señales de alta y baja intensidad, reduciendo significativamente el error en la recepción de datos.
- Ancho de línea: 10 MHz - Este parámetro está diseñado para afinar la detección de la fase de la señal, lo que es esencial para la interpretación precisa y el manejo de la señal.
- Fase inicial: 0 grados - Establecer la fase inicial en cero grados permite que la señal se alinee desde el principio con los estándares de referencia, optimizando la sincronización y procesamiento inicial de la señal.

7.5.1.3. Elementos de la simulación

Tabla 7.6: Equivalencias de componentes en diseño de red y simulación

Componente	Componente en el simulador	Representación gráfica	Atenuación (dB)
Atenuación fibra óptica	Fibra óptica configurada		0.25/km
Perdida por inserción	Conector		0.35
Perdidas por fusión	Atenuador		0.1
<i>Splitter</i> 1x2 simétrico	<i>Splitter</i> 1x2 simétrico		3.8
<i>Splitter</i> 30/70 1x2 asimétrico 30%	<i>Splitter</i> 30/70 1x2 asimétrico 30%		6.0
<i>Splitter</i> 30/70 1x2 asimétrico 70%	<i>Splitter</i> 30/70 1x2 asimétrico 70%		1.9
<i>Splitter</i> 1x8 simétrico	<i>Splitter</i> 1x8 simétrico		10.6
Margen	Atenuador		3.00

La tabla anterior resume las equivalencias entre los componentes físicos y sus representaciones en la simulación, destacando la atención al detalle en la modelación de la atenuación y otros factores críticos que afectan el rendimiento de la red. Necesitamos validar la exactitud de nuestras simulaciones y asegurar que los resultados sean aplicables en escenarios reales. En las secciones siguientes, exploraremos cómo estas configuraciones impactan el rendimiento general del sistema.

7.5.1.4. Configuración de la consola

Se describe los parámetros generales en los cuales se realiza la simulación

Name	Value	Units	Mode
Simulation window	Set bit rate		Normal
Reference bit rate	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
Bit rate	10e+009	bit/s	Normal
Time window	0.1024e-006	s	Normal
Sample rate	320e+009	Hz	Normal
Sequence length	1024	bits	Normal
Samples per bit	32		Normal
Guard Bits	0		Normal
Symbol rate	10e+009	symbols/s	Normal
Number of samples	32768		Normal
Reference wavelength	1490	nm	Normal
Export results to file	<input type="checkbox"/>		Normal
Results filename	C:\Users\ING-ABRAHAM\Docume...		Normal
Export results options	Save after each sweep iteration		Normal
Cuda GPU	<input type="checkbox"/>		Normal
PAS sizing non power of two	<input type="checkbox"/>		Normal

Figura 7.24: Configuración general del entorno de simulación [25]

- *Bit rate* y ventana de simulación: Se estableció un *bit rate* de 10 Gb/s, reflejando condiciones de uso intensivo típicas de redes de telecomunicaciones modernas, permitiendo evaluar eficazmente el rendimiento de la red.
- Ventana temporal y frecuencia de muestreo: Adoptamos una ventana temporal de 0.1024e-006 segundos y una frecuencia de muestreo de 320e+009 Hz, capturando detalladamente la dinámica de la señal para un análisis robusto de su comportamiento.
- Resolución de la secuencia y muestras por bit: Configuramos la simulación con una secuencia de 1 024 bits y 32 muestras por bit para mejorar la precisión en la identificación de errores y anomalías.

- Frecuencia de símbolos y volumen de muestras: La frecuencia de símbolos se fijó en $10e+009$ símbolos/s con un total de 32 768 muestras, proporcionando un conjunto de datos significativo para el análisis estadístico.
- Longitud de onda de referencia y guardado de resultados: Optamos por una longitud de onda de 1 490 nm para alinearse con las aplicaciones estándar de fibra óptica y configuramos la exportación automática de resultados después de cada ciclo de simulación, facilitando la continuidad en el monitoreo y análisis.

7.5.2. Implementación de la simulación

7.5.2.1. Caso 1 simulación punto más cercano de la red

Gracias a la tabla de equivalencias de componentes presentada anteriormente, podemos establecer correspondencias precisas con los equipos reales y modelar de manera específica el recorrido y las pérdidas en el entorno de simulación para el caso del punto más cercano en la red. Este modelo incluye una detallada representación del paso por cada elemento que contribuye a la atenuación, A continuación, presentamos una nueva tabla que detalla estas equivalencias:

Tabla 7.7: Equivalencias de equipos en diseño de red y simulación caso 1

Componente	Componente en simulación	Atenuación
Recorrido fibra óptica	Fibra óptica configurada	0.25 dB/Km
OLT	Un atenuador + conector + atenuador	0.55 dB
Mufal	Un atenuador + conector	0.45 dB
Caja de distribución	Un <i>splitter</i> 1x2 simétrico + conector	4.15 dB
FAT	(Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30% + Un <i>splitter</i> 1x8 simétrico)	16.6 dB
Margen	Atenuador	5 dB

Continuamos con la exposición detallada del diseño simulado de la red. Esta sección ilustra el recorrido completo de la señal, que inicia en el emisor, avanza a través de la FAT y concluye en el receptor óptico. Gracias a los medidores de potencia instalados en puntos

determinantes, es posible visualizar el flujo de la señal y evaluar la interacción entre los diversos componentes a lo largo del sistema. Estos instrumentos son cruciales para validar el comportamiento y la atenuación introducida por los *splitters*, así como para verificar la proporción de división en los *splitters* asimétricos, asegurando así que cada segmento opera dentro de los parámetros esperados y contribuye eficazmente a la integridad de la red.

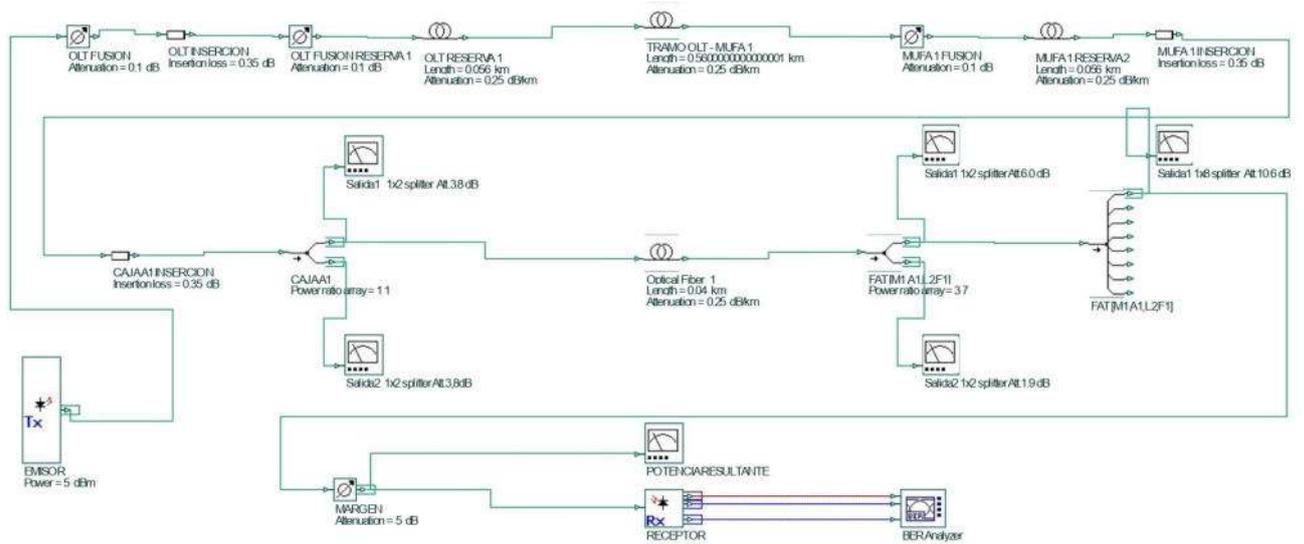


Figura 7.25: Simulación enlace punto más cercano

7.5.2.2. Caso 2 simulación punto más lejano de la red

La siguiente tabla muestra las equivalencias de los componentes utilizados en la simulación para el punto más lejano de la red, detallando los dispositivos específicos y su correspondiente atenuación. Cada elemento, desde atenuadores hasta *splitters*, está configurado para reflejar las condiciones reales de operación y evaluar el impacto en la eficiencia de la transmisión.

Tabla 7.8: Equivalencias de equipos en diseño de red y simulación caso 2

Componente	Componente en la simulación	Atenuación
Recorrido FO	Fibra óptica configurada	0.25 dB/Km
OLT	Atenuador + conector + atenuador	0.55 dB
Mufa 1	Atenuador	0.10 dB
Mufa 2	Atenuador	0.10 dB
Mufa 3	Atenuador	0.10 dB
Mufa 4	Atenuador	0.10 dB
Mufa 5	Atenuador	0.10 dB
Mufa 6	Atenuador	0.10 dB
Mufa 7	Atenuador + conector	0.45 dB
CD G1	Conector	0.35 dB
CD G2	Conector	0.35 dB
CD G3	Conector + Un <i>splitter</i> 1x2 simétrico	4.15 dB
FAT1	Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30%	1.90 dB
FAT2	Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30%	1.90 dB
FAT3	Un <i>splitter</i> 1x2 asimétrico al 30%	1.90 dB
FAT4	Un <i>splitter</i> 1x8 simétrico	10.6 dB
Margen	Atenuador	5.00 dB

Finalmente, presentamos la simulación, realizada en el entorno de Optisystem, donde hemos organizado los componentes de manera que reflejen fielmente el diseño de red propuesto. Esta simulación busca replicar el comportamiento del sistema con la mayor precisión posible, tal como fue detallado en el diagrama unifilar mostrado en secciones anteriores. En particular, se ha puesto énfasis en el funcionamiento de los *splitters*, tanto simétricos como asimétricos, y en cómo estos afectan la distribución de la señal a lo largo de la red. Además, se ha configurado la simulación para evaluar el rendimiento de los componentes clave en las condiciones más desafiantes.

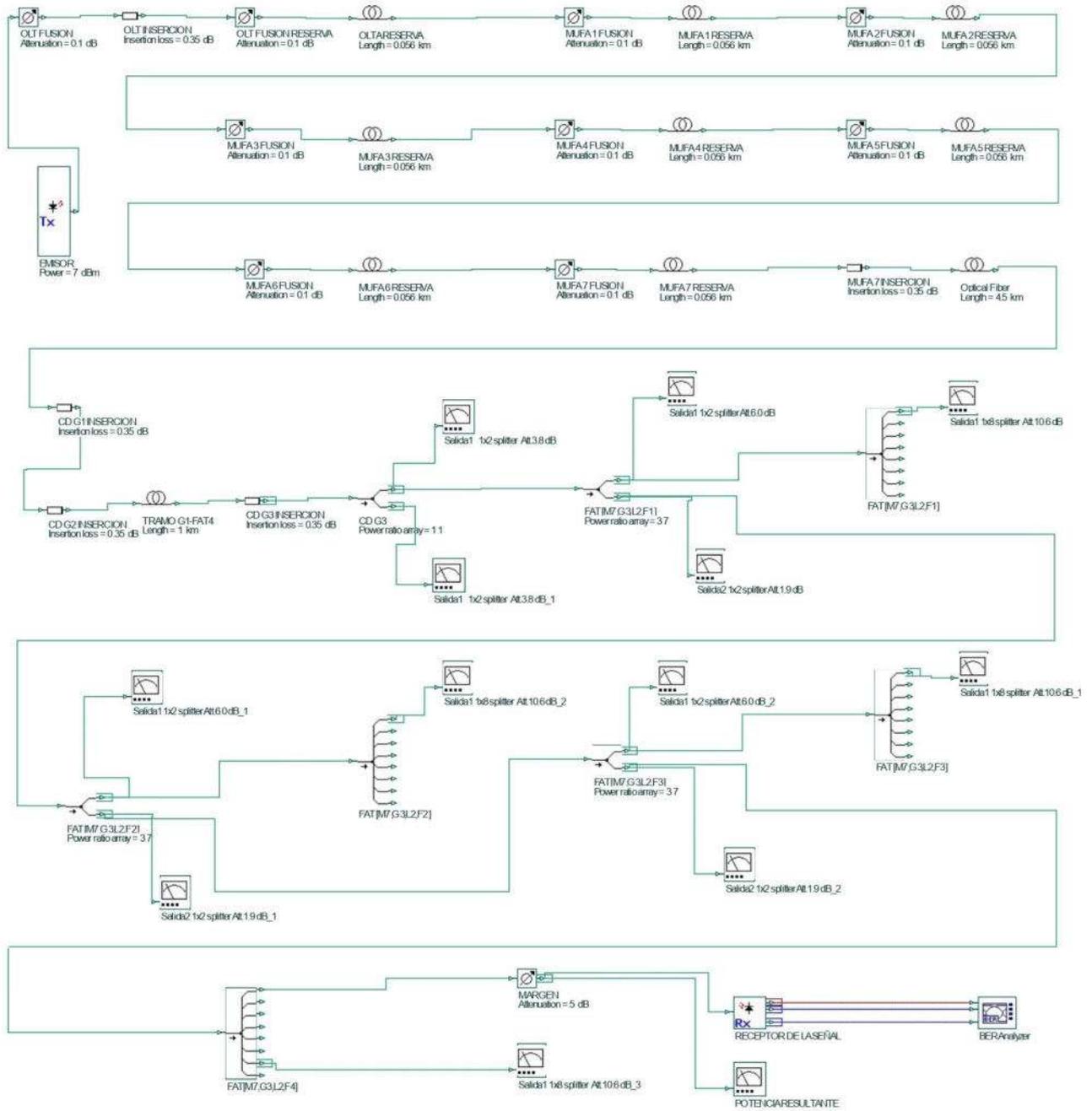


Figura 7.26: Simulación enlace punto más lejano

7.5.3. Resultados simulados

La validación de los resultados, de acuerdo con la naturaleza del presente trabajo de tesis, debe realizarse bajo el marco regulatorio pertinente. Esto nos permite certificar que el diseño propuesto es perfectamente viable. Los parámetros mínimos que deben cumplirse fueron identificados previamente en la validación teórica de los resultados de diseño expuestos en secciones anteriores (ver tabla 7.4). Sin embargo, ahora, gracias a la simulación, podemos observar de manera más precisa y fidedigna la viabilidad del proyecto.

Para garantizar el cumplimiento de estos estándares, hemos incorporado directrices derivadas del marco teórico que reflejan los parámetros que no deben ser superados, especialmente en lo relacionado con el diagrama de ojo. Verificaremos los casos que se vieron hasta ahora como el punto más cercano y el punto más lejano de la red, asegurando que el rendimiento del sistema se mantenga dentro de los límites establecidos por el marco regulatorio.

Tabla 7.9: Parámetros de validación bajo el marco regulatorio internacional

ITU-T G.984.2	Requisitos
Tasa de error de bits	Mínima debe ser igual o mayor que $1e-10$
Factor Q	Debe ser mayor o igual que 6

7.5.3.1. Resultados caso 1 simulación punto más cercano de la red

Seguidamente se presentan los resultados correspondientes al caso 1 de un total de 6 simulaciones, donde 3 corresponden a OLTs con tecnología B+ y los otros 3 a OLTs con tecnología C+.

Para este caso particular de simulación, se considera un emisor de tipo B+, el cual opera con una potencia mínima de entrada establecida en 1.50 dBm.

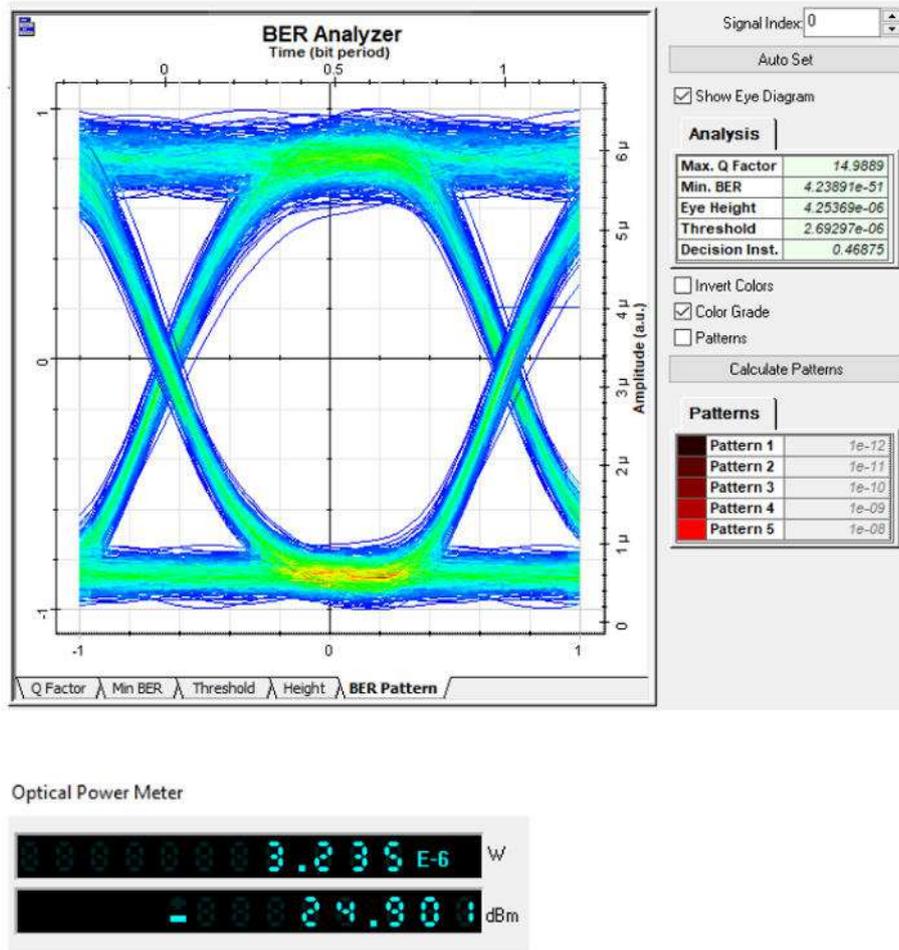


Figura 7.27: Caso 1 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT B+ 1.50 dBm [25]

La figura muestra el diagrama de ojo, que refleja la calidad de la señal, y los resultados del *power meter* confirman que los niveles de potencia se encuentran dentro de los parámetros establecidos. Se observa un factor Q de 14.98, que supera ampliamente el mínimo de 6 establecido por la ITU-T. Asimismo, el BER se encuentra dentro de los límites requeridos. La apertura y la altura del diagrama de ojo son notables, lo que indica una excelente calidad de la señal. Finalmente, el medidor de potencia muestra una recepción de -24.901 dBm, un valor muy cercano a nuestras mediciones previas, lo que confirma la consistencia de los resultados. Cabe mencionar que, según la ITU-T, la pérdida por degradación oscila entre 1 dB y 0.5 dB.

En este caso de simulación, se emplea un emisor de tipo B+ que cuenta con una potencia máxima de salida de 5.0 dBm, lo cual permite evaluar su rendimiento en condiciones específicas. Con esta configuración, se tiene:

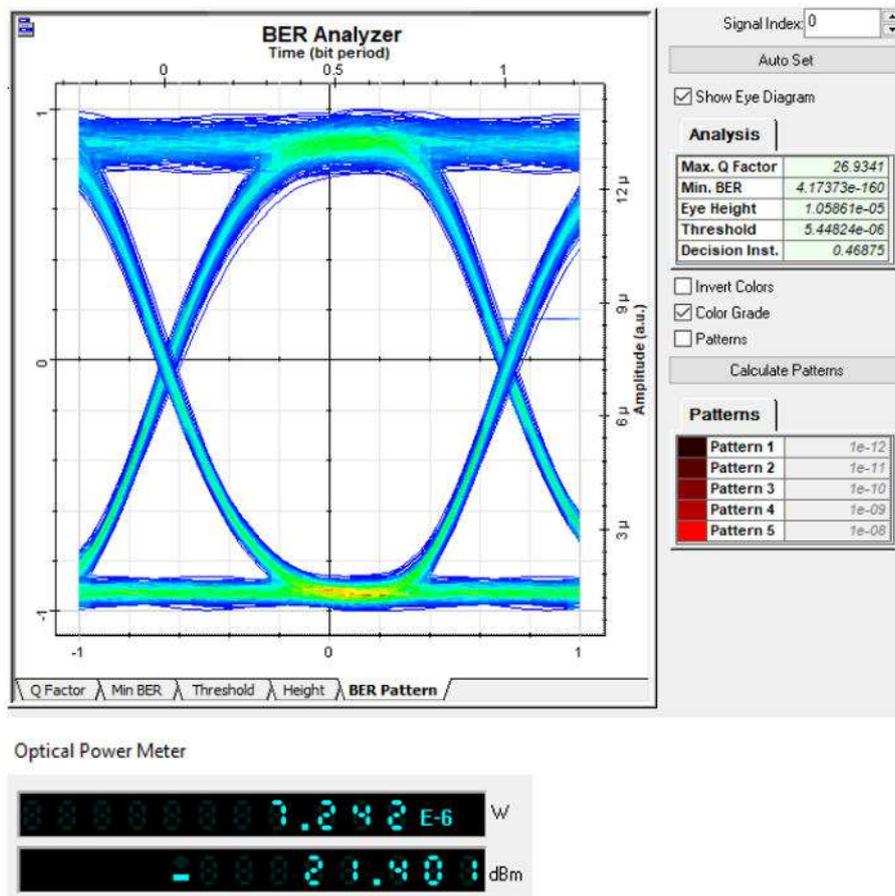


Figura 7.28: Caso 1 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT B+ 5.50 dBm [25]

El factor Q máximo registrado fue de 26.9341, superando considerablemente el umbral mínimo de 6 establecido por la ITU-T, lo que demuestra una excelente calidad en la señal recibida. Asimismo, el BER mínimo alcanzada fue de 4.1737e-160, cumpliendo con los estándares normativos y asegurando una transmisión libre de errores en el escenario simulado. Adicionalmente, la apertura y altura del diagrama de ojo fueron muy claras y definidas, indicando un alto nivel de integridad en la señal óptica. Por último, el *power meter* registró una potencia de recepción de -21.401 dBm, cifra que se alinea con las expectativas para escenarios de máxima potencia de entrada, corroborando la eficacia del diseño.

Para este caso de simulación, se utiliza un emisor de tipo B+ que presenta una potencia de entrada media de 3.25 dBm, permitiendo evaluar el comportamiento del sistema bajo estas condiciones específicas. Con esta configuración, se tiene:

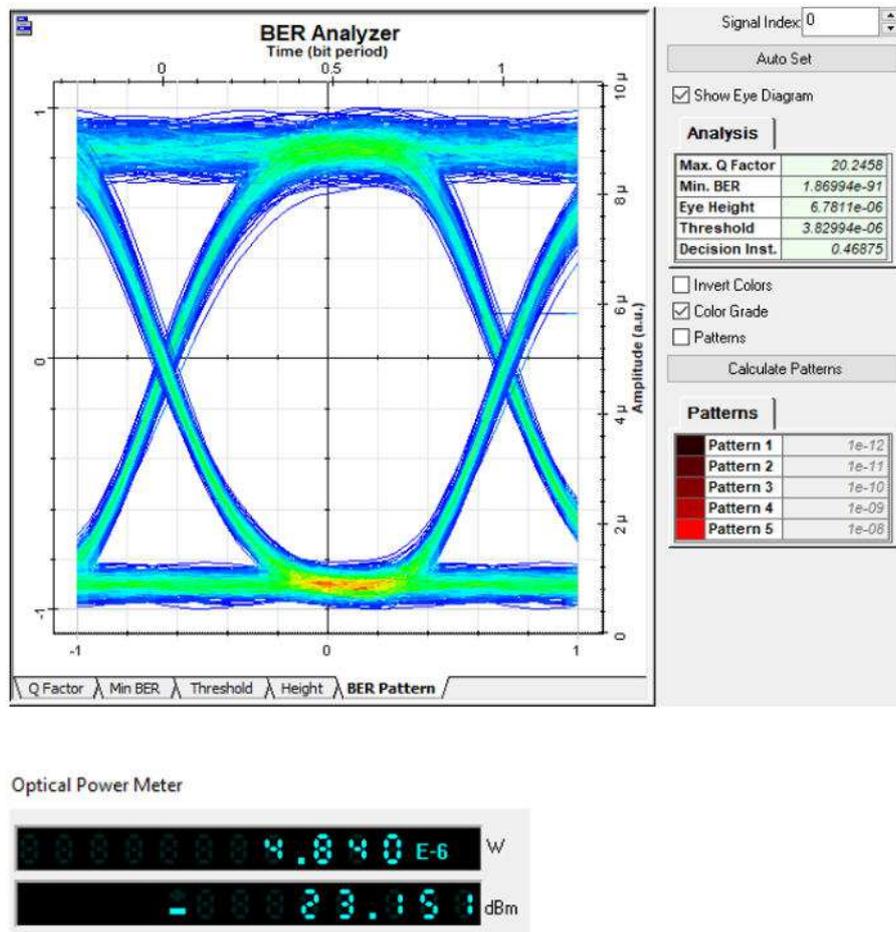


Figura 7.29: Caso 1 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT B+ 3.25 dBm [25]

El factor Q máximo alcanzado fue de 20.2458, que aún supera con creces el mínimo de 6 requerido por la normativa ITU-T, demostrando que la calidad de la señal se mantiene en un nivel muy bueno. Además, el BER registrado fue de 1.66994e-91, lo que evidencia una transmisión de señal excelente con una tasa de error extremadamente baja, cumpliendo con los requisitos normativos. En cuanto a la visualización del diagrama de ojo, la apertura y la altura siguen siendo claras y definidas, indicando una señal óptica de alta calidad en este nivel de potencia intermedio. Finalmente, el medidor de potencia mostró un nivel de recepción de -23.151 dBm, coherente con los resultados anteriores.

Para el caso de simulación, se utiliza un emisor C+ con una potencia de entrada mínima de 3.25 dBm. Con esta configuración, se tiene:

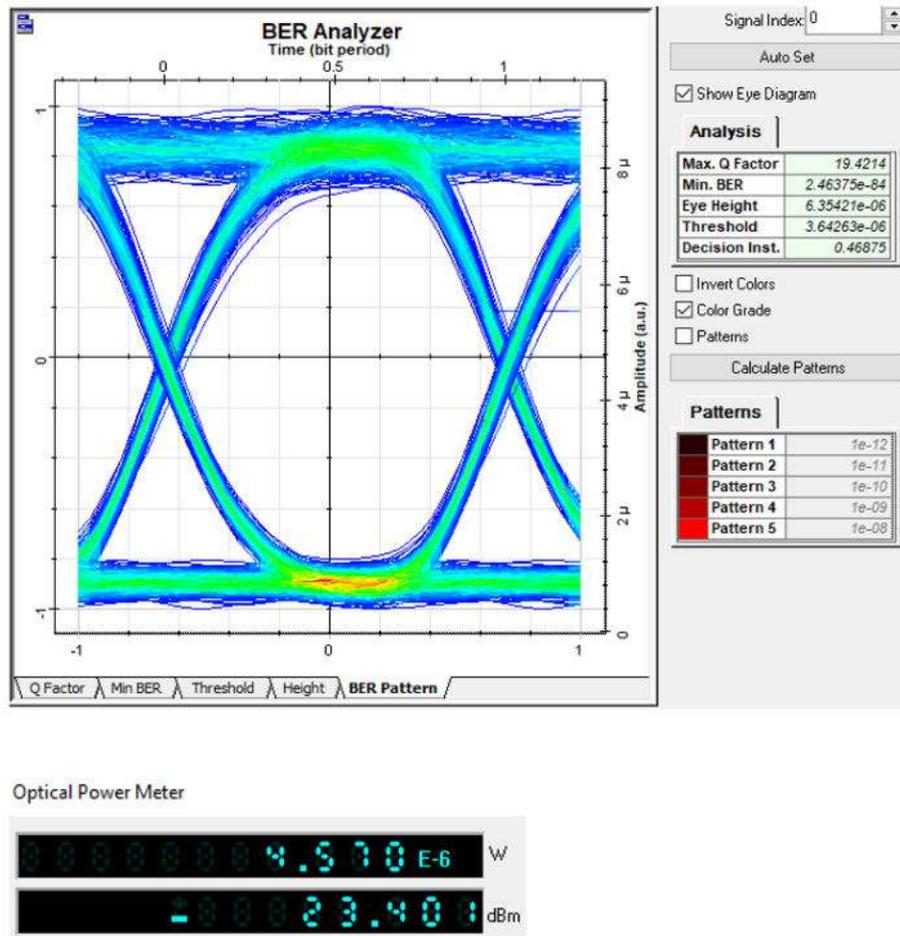


Figura 7.30: Caso 1 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT C+ 3.00 dBm [25]

En el análisis de la señal, se obtuvo un factor Q máximo de 19.4214, lo que está significativamente por encima del umbral mínimo requerido por las normativas internacionales, indicando una excelente calidad de la señal. El BER mínimo registrado fue de 2.46375e-84, lo que confirma una transmisión de datos con una tasa de error extremadamente baja, cumpliendo ampliamente con los requisitos técnicos y asegurando una transmisión eficiente. Además, la altura del diagrama de ojo de 6.3542e-06 muestra una apertura clara y definida, lo que refleja una alta integridad en la señal óptica. Por otro lado, el medidor de potencia óptica muestra un valor de recepción de -23.401 dBm, lo cual es consistente con los escenarios de potencia media analizados previamente. Este valor confirma la estabilidad y consistencia del sistema en términos de potencia recibida, manteniendo una buena relación señal-ruido.

En esta simulación, se considera un emisor C+ configurado para operar con una potencia de entrada máxima de 7.0 dBm, permitiendo observar su desempeño en condiciones de alta potencia. Así, se obtiene:

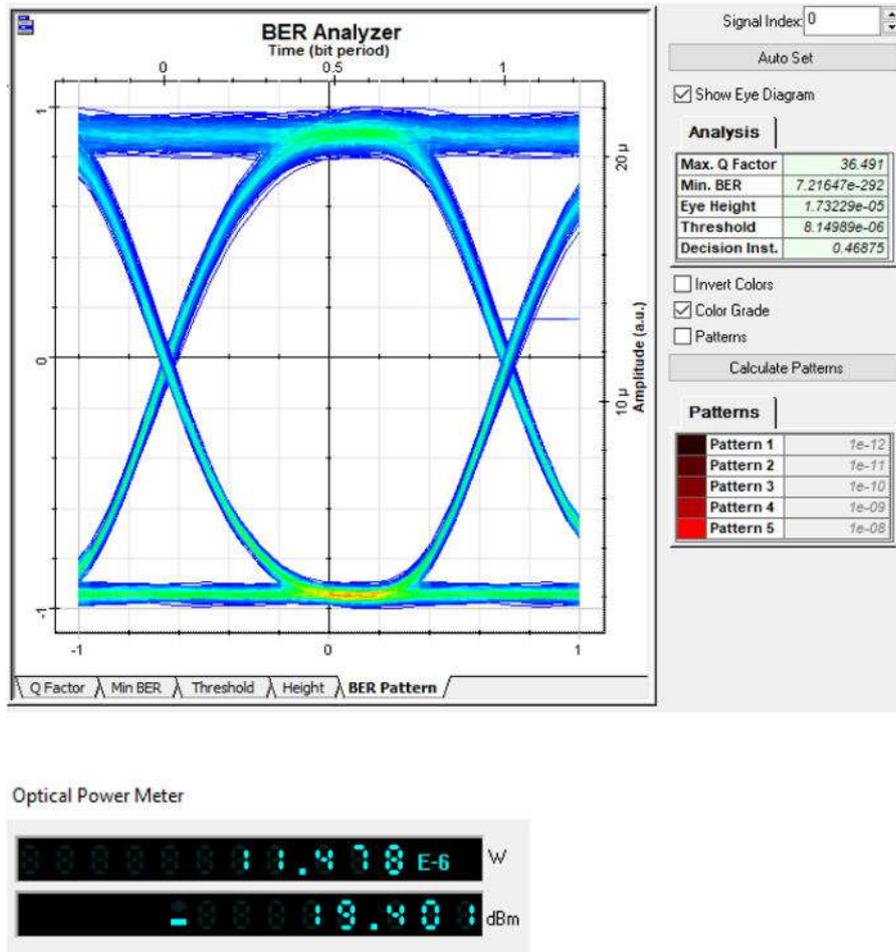


Figura 7.31: Caso 1 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT C+ 7.00 dBm [25]

En esta simulación, el factor Q máximo alcanzado fue de 36.491, demostrando una calidad excepcional en la señal óptica. El BER mínimo registrado fue de 7.21647e-292, lo que refleja una transmisión con una tasa de error insignificante, asegurando la integridad de la señal a lo largo del sistema. Además, la altura del diagrama de ojo de 1.73229e-05 revela una excelente apertura.

Por su parte, el medidor de potencia óptica registró un nivel de recepción de -19.401 dBm, un valor que sigue alineado con los resultados obtenidos previamente, confirmando la estabilidad y consistencia del sistema de transmisión bajo diversas condiciones de entrada.

En este escenario de simulación, se utiliza un emisor C+ ajustado a una potencia de entrada media de 5.0 dBm, lo cual permite analizar su rendimiento en condiciones de carga moderada. Con esta configuración, se obtiene:

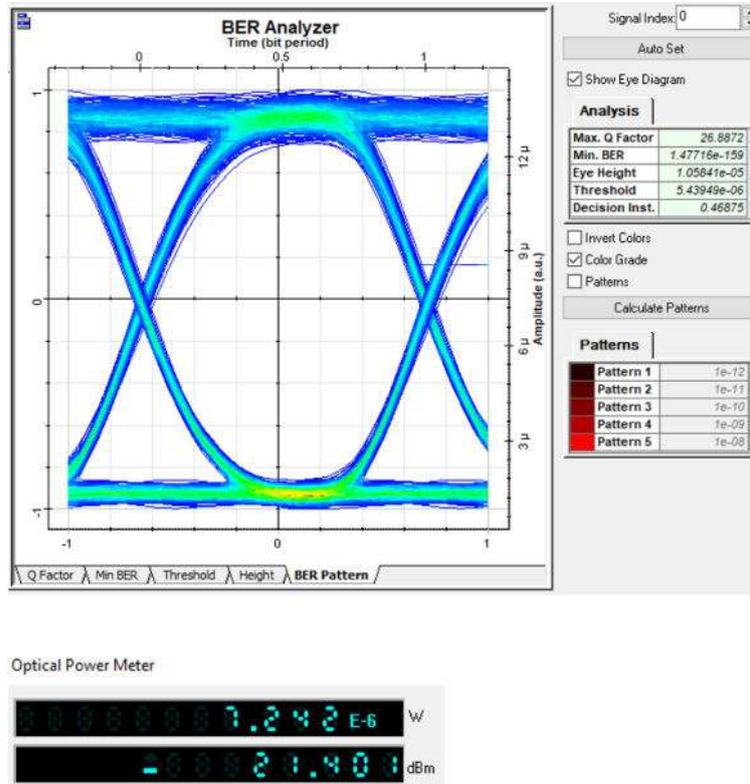


Figura 7.32: Caso 1 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT C+ 5.00 dBm [25]

En este escenario, el factor Q máximo registrado fue de 26.8872, lo que indica una calidad de señal sólida, superando ampliamente los requisitos mínimos normativos. El BER mínimo alcanzado fue de 1.47716e-159, lo cual refleja un nivel extremadamente bajo de errores, asegurando la fiabilidad en la transmisión. La altura del diagrama de ojo, con un valor de 1.05841e-05, muestra una apertura adecuada que garantiza una señal óptica clara y bien definida.

El medidor de potencia óptica reportó una recepción de -21.401 dBm, un valor consistente con los resultados anteriores, demostrando una estabilidad adecuada en la red bajo diferentes condiciones operativas.

7.5.3.2. Resultados caso 2 simulación punto más lejano de la red

En esta simulación, se considera un emisor B+ operando a una potencia mínima de entrada de 1.5 dBm, lo cual facilita analizar su rendimiento bajo condiciones de potencia reducida. Bajo esta configuración, se obtiene:

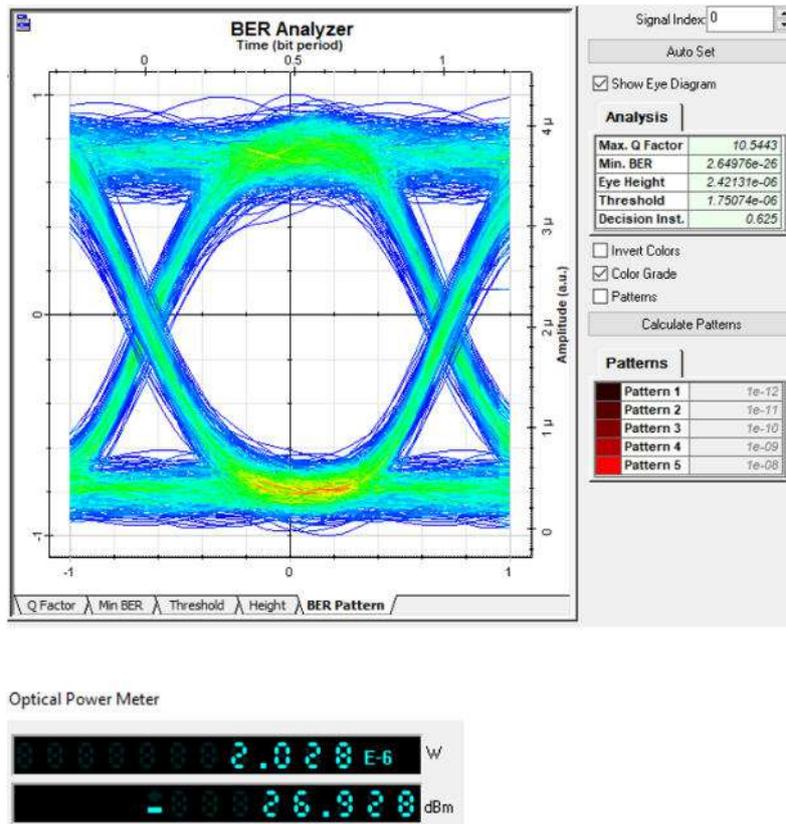


Figura 7.33: Caso 2 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT B+ 1.50 dBm [25]

En este caso, el factor Q máximo alcanzado fue de 10.5443, lo que sigue estando por encima del umbral requerido, aunque con una calidad de señal ligeramente inferior a los escenarios anteriores. El BER mínimo registrado fue de 2.64976e-26, lo cual, aunque es mayor en comparación con otros casos, sigue siendo extremadamente bajo, garantizando una transmisión eficiente. La altura del diagrama de ojo muestra una menor apertura que en otros escenarios lo que sugiere un mayor nivel de distorsión en la señal óptica. El medidor de potencia óptica indica una recepción de -26.928 dBm, mostrando una menor potencia de señal recibida en comparación con los casos anteriores, pero dentro de los márgenes aceptables.

Para esta simulación, se emplea un emisor B+ configurado con una potencia de entrada máxima de 5.0 dBm, permitiendo examinar su rendimiento en condiciones de alta potencia. Con esta configuración, se espera:

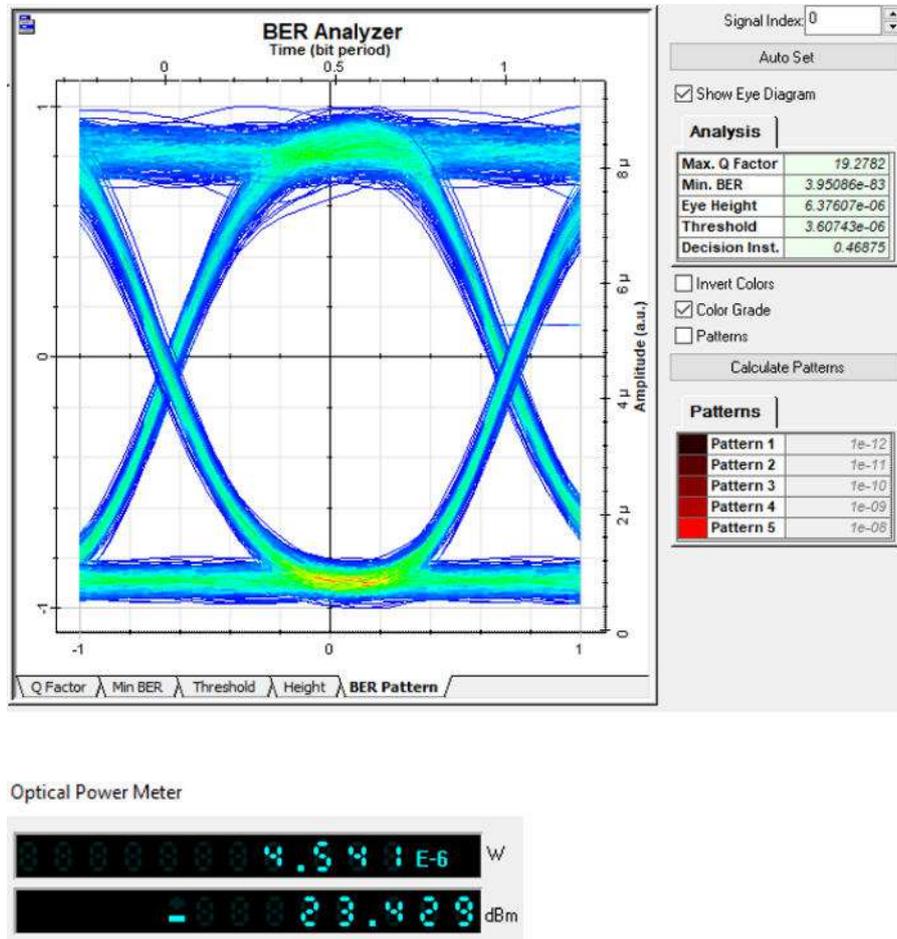


Figura 7.34: Caso 2 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT B+ 5.00 dBm [25]

En este análisis, el factor Q máximo alcanzado fue de 19.2782, lo que indica una señal de buena calidad que supera con creces los estándares mínimos. El BER mínimo registrado fue de 3.95066e-83, lo que demuestra una tasa de error extremadamente baja y una transmisión de datos fiable. La altura del diagrama de ojo, con un valor de 6.37607e-06, muestra una excelente apertura, lo que sugiere una señal clara y bien definida, sin indicios de distorsión significativa. El medidor de potencia óptica registró un nivel de recepción de -23.429 dBm, lo que coincide con las expectativas para este tipo de condiciones operativas, confirmando que el sistema mantiene su estabilidad incluso bajo diferentes niveles de potencia.

En este escenario, se utiliza un emisor B+ operando con una potencia de entrada media de 3.25 dBm, lo que permite analizar su comportamiento en condiciones de potencia moderada. Con esta configuración, se observa:

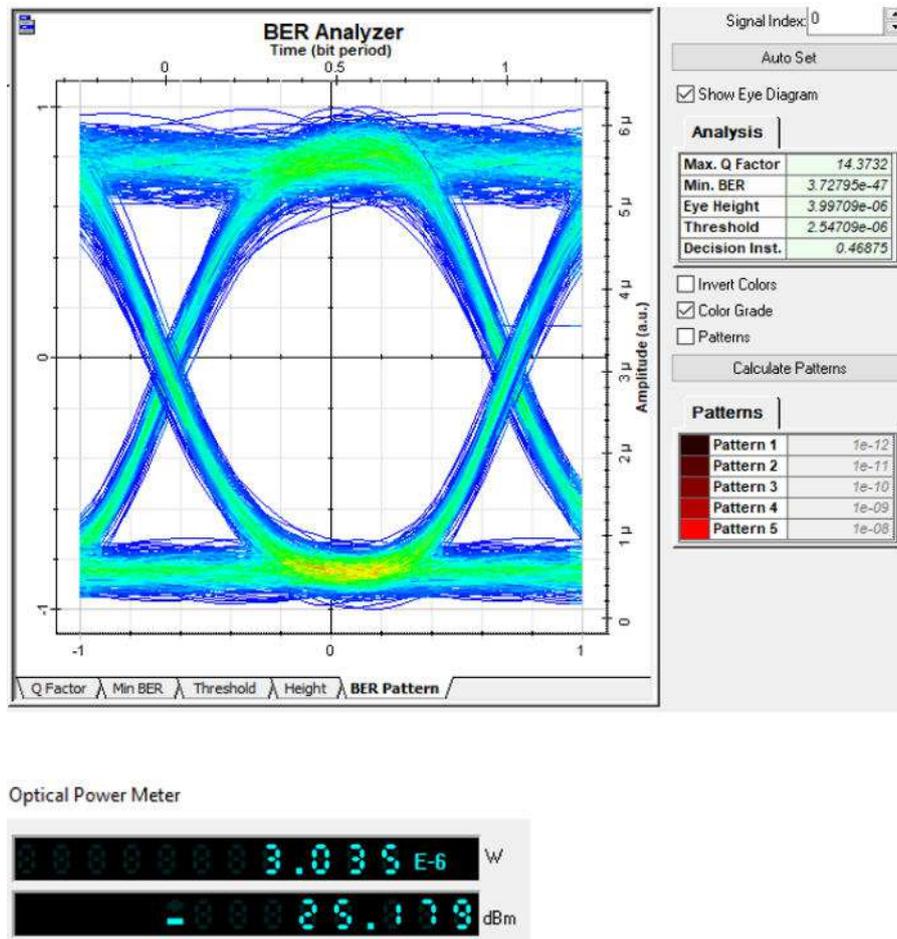


Figura 7.35: Caso 2 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT B+ 3.25 dBm [25]

En esta simulación, el factor Q máximo alcanzado fue de 14.3732, lo que indica una buena calidad de la señal, algo inferior en comparación con otros escenarios previamente analizados. El BER mínimo fue de 3.72795e-47, manteniendo una tasa de error extremadamente baja y asegurando la fiabilidad en la transmisión de datos. La altura del diagrama de ojo, con un valor de 3.99709e-06, muestra una apertura aceptable, lo que indica una señal clara pero con una leve distorsión en comparación con casos anteriores. El medidor de potencia óptica registró una potencia de -25.019 dBm, mostrando una caída de la señal en comparación con los casos anteriores, aunque dentro de los límites aceptables.

En esta configuración, se emplea un emisor C+ con una potencia de entrada mínima de 3.0 dBm, lo cual facilita el análisis de su rendimiento en condiciones de baja potencia. Así, se obtiene:

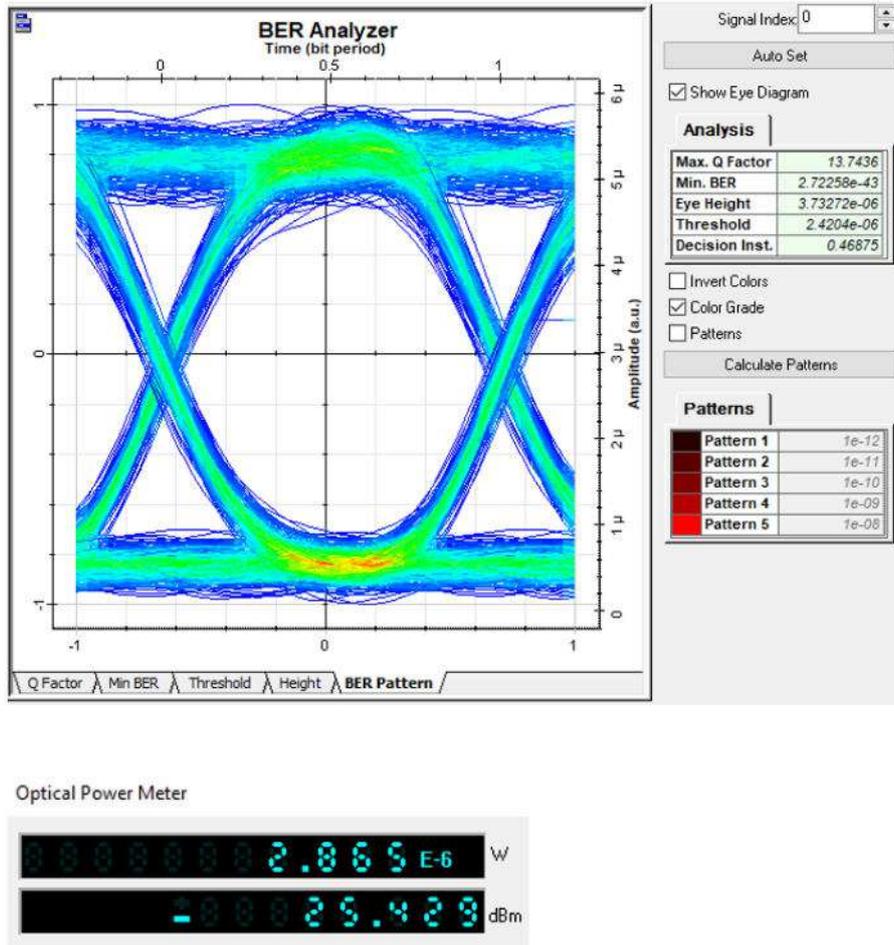


Figura 7.36: Caso 2 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT C+ 3.00 dBm [25]

En este análisis, el factor Q máximo registrado fue de 13.7436, lo que refleja una calidad de señal aceptable, más baja en comparación con otros casos evaluados previamente. El BER mínimo fue de 2.72258×10^{-43} , lo cual sigue garantizando una transmisión con una tasa de error extremadamente baja y dentro de los límites permitidos. La altura del diagrama de ojo, con un valor de 3.73272×10^{-6} , indica una buena apertura, lo que refleja una señal óptica adecuada, con un cierto nivel de distorsión.

El medidor de potencia óptica mostró un nivel de recepción de -25.429 dBm, un valor que refleja una potencia de señal reducida en comparación con otros escenarios,

Para esta simulación, se ha configurado un emisor C+ con una potencia de entrada máxima de 7.0 dBm, permitiendo evaluar su desempeño en escenarios de alta potencia. Con esta configuración, se tiene:

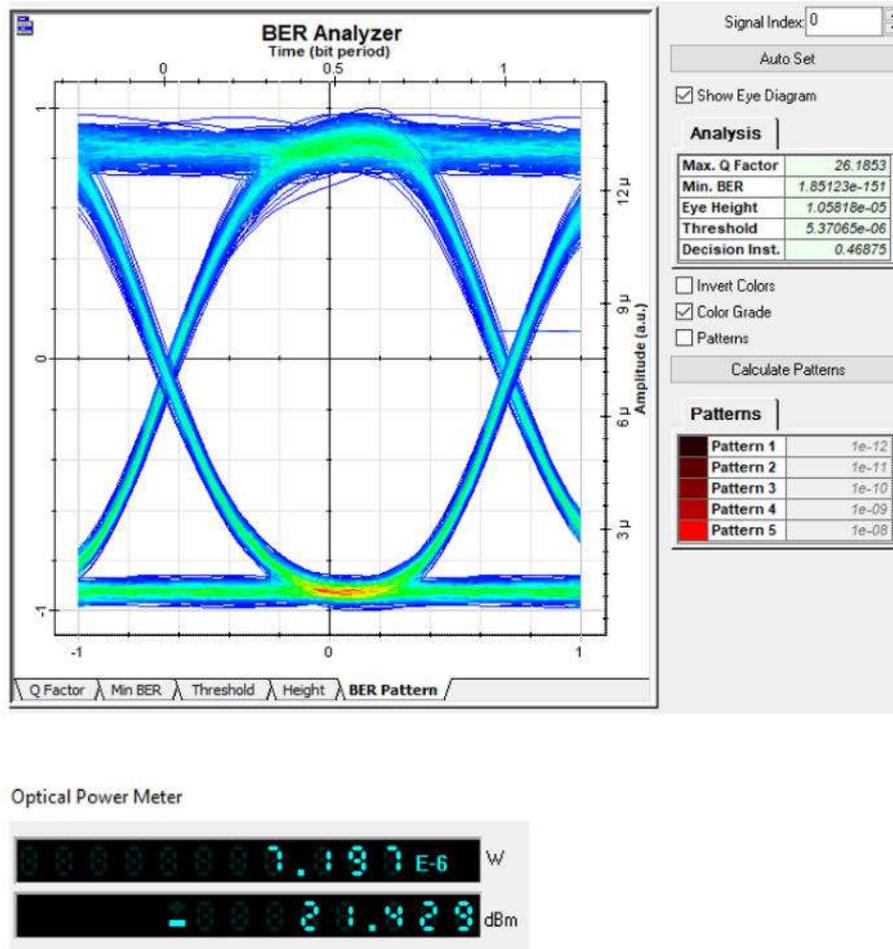


Figura 7.37: Caso 2 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT C+ 7.00 dBm [25]

En este escenario, el factor Q máximo alcanzado fue de 26.1853, lo que demuestra una excelente calidad en la señal óptica. El BER mínimo, de 1.85123e-151, asegura una transmisión con un nivel extremadamente bajo de errores, lo que confirma la robustez del sistema. La altura del diagrama de ojo, con un valor de 1.0581e-05, muestra una apertura clara y bien definida, lo que refleja una señal de alta calidad con poca distorsión. Este resultado refleja que el diseño es operativo aun con potencias máximas. El medidor de potencia óptica registró un nivel de recepción de -21.029 dBm, lo cual es consistente con las condiciones esperadas.

En este caso, se configura un emisor C+ con una potencia de entrada media de 5.0 dBm, lo que permite examinar su comportamiento bajo condiciones de potencia intermedia. Con esta configuración, se observa:

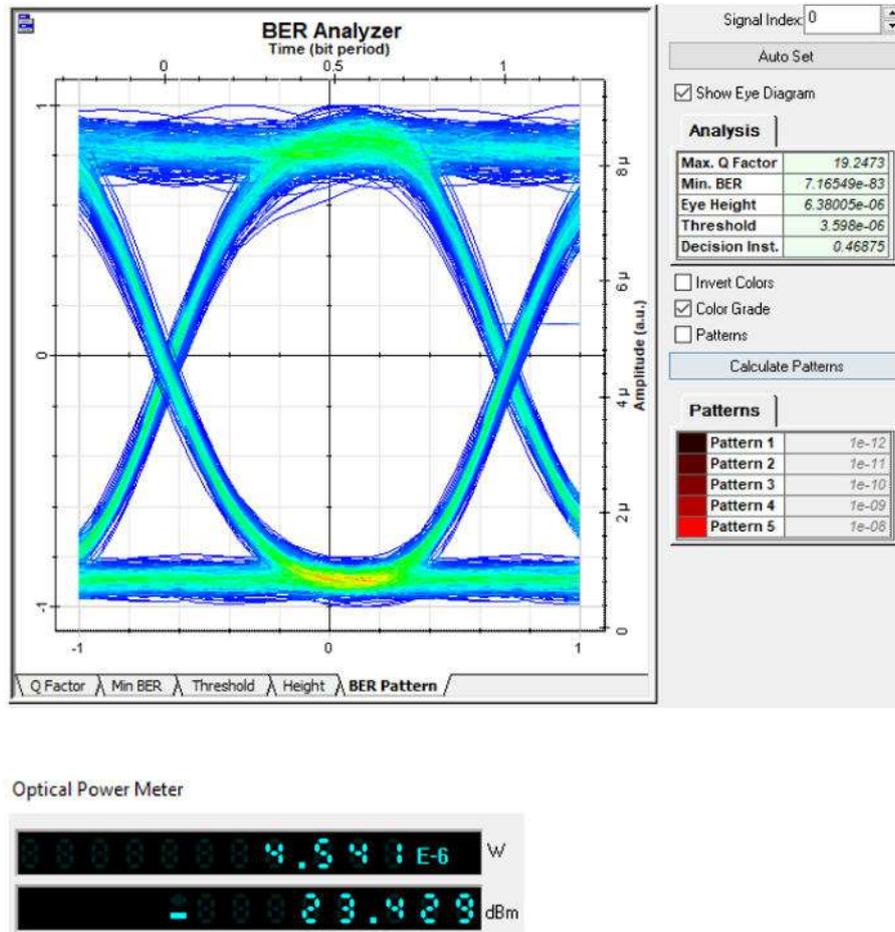


Figura 7.38: Caso 2 diagrama de ojo y medición de *power meter* OLT C+ 5.00 dBm [25]

En este análisis, el factor Q máximo obtenido fue de 19.2473, lo que indica una buena calidad de la señal, manteniéndose dentro de los márgenes aceptables para asegurar un rendimiento confiable. El BER mínimo registrado fue de 7.16549×10^{-83} , confirmando una transmisión con una tasa de error insignificante, asegurando una operación eficiente. La altura del diagrama de ojo, con un valor de 6.38005×10^{-6} , muestra una excelente apertura, lo que refleja una señal óptica clara y estable. El medidor de potencia óptica registró un nivel de recepción de -23.499 dBm, lo que es consistente con los escenarios previos, indicando una estabilidad continua en la señal bajo estas condiciones de potencia.

7.6. Resumen y validación final de resultados

7.6.1. Correlación de potencias obtenidas para validación del enlace en el punto más cercano de la red

Se presenta la compilación de los resultados obtenidos mediante las mediciones del *power meter*, comparados con los cálculos teóricos previos para el punto más cercano de la red. Estas mediciones incluyen diferentes niveles de potencia de emisión (mínima, media y máxima), con el objetivo de evaluar la potencia de recepción en cada caso y validar la degradación del enlace según la recomendación ITU-T G.984.2. Los resultados simulados y diseñados se confrontan en dos escenarios, utilizando tanto tecnología OLT B+ como OLT C+, lo que permite confirmar la precisión de los cálculos teóricos en relación con las mediciones experimentales.

Tabla 7.10: Validación de resultados caso 1

CASO 1: Punto cercano	Nivel de potencia ~	Potencia de emisión (dBm)	Potencia de recepción (dBm)	Potencia de recepción (dBm)	Degradación ITU-T G.984.2 (dB)	Estado del enlace
			Diseño	Simulado		
Enlace punto más cercano OLT B+ FAT[M1,A1,L3;F1]	Min	1.50	-25.428	-24.901	0.5	Validado
	Max	5.00	-21.928	-21.401	0.5	Validado
	Media	3.25	-23.678	-23.151	0.5	Validado
Enlace punto más cercano OLT C+ FAT[M1,A1,L3;F1]	Min	3.00	-23.928	-23.401	0.5	Validado
	Max	7.00	-19.928	-19.401	0.5	Validado
	Media	5.00	-21.928	-21.401	0.5	Validado

La tabla 7.10 muestra una coherencia notable entre las potencias de recepción simuladas y las teóricas, con desviaciones mínimas que no comprometen la validez del enlace. Todos los enlaces se validaron exitosamente, lo que confirma que el diseño es robusto y que las simulaciones corresponden estrechamente con los valores teóricos previamente calculados. Este análisis ratifica que el diseño es capaz de operar de manera eficiente en el punto más cercano de la red.

7.6.2. Correlación de potencias obtenidas para validación del enlace en el punto más lejano de la red

Se presenta la compilación de los resultados obtenidos mediante las mediciones del *power meter*, comparados con los cálculos teóricos previos para el punto más lejano de la red. Estas mediciones incluyen diferentes niveles de potencia de emisión (mínima, media y máxima), con el objetivo de evaluar la potencia de recepción en cada caso y validar la degradación del enlace según la recomendación ITU-T G.984.2. Los resultados simulados y diseñados se confrontan en dos escenarios, utilizando tanto tecnología OLT B+ como OLT C+, lo que permite confirmar la precisión de los cálculos teóricos en relación con las mediciones experimentales.

Tabla 7.11: Validación de resultados caso 2

CASO 2: Punto lejano	Nivel de potencia ~	Potencia de emisión (dBm)	Potencia de recepción (dBm)	Potencia de recepción (dBm)	Degradación ITU-T G.984.2 (dB)	Estado del enlace
			Diseño	Simulado		
Enlace punto más lejano OLT B+ FAT[M7,G3,L2,F4]	Min	1.50	-27.730	-26.928	0.5	Validado
	Max	5.00	-24.230	-23.429	0.5	Validado
	Media	3.25	-25.980	-25.179	0.5	Validado
Enlace punto más lejano OLT B+ FAT[M7,G3,L2,F4]	Min	3.00	-26.230	-25.429	0.5	Validado
	Max	7.00	-22.230	-21.429	0.5	Validado
	Media	5.00	-24.230	-23.429	0.5	Validado

La tabla 7.11 muestra una coherencia notable entre las potencias de recepción simuladas y las teóricas, con desviaciones mínimas que no comprometen la validez del enlace. Los enlaces se mantienen dentro de los límites recomendados por la ITU-T G.984.2, lo que garantiza que la calidad no se ve afectada de manera significativa en ninguno de los niveles de potencia analizados. Tanto en el escenario con OLT B+ como en el de OLT C+, todos los enlaces se validaron exitosamente, lo que confirma que el diseño es robusto y que las simulaciones corresponden estrechamente con los valores teóricos previamente calculados. Este análisis ratifica que el diseño es capaz de operar de manera eficiente en el punto más cercano de la red.

Conclusiones

- La propuesta desarrollada para el despliegue de redes ópticas en el Centro Histórico de Cusco ha sido meticulosamente diseñada alineándose con el marco regulatorio de zonas monumentales, asegurando un enfoque respetuoso y efectivo para la modernización de la infraestructura de telecomunicaciones en áreas patrimoniales.
- Descrito en el capítulo 3, se realizó un análisis exhaustivo de la infraestructura de redes cableadas existente, identificando las capacidades y limitaciones dentro del contexto regulatorio del Centro Histórico de Cusco, lo cual facilitó una comprensión integral de los requisitos legales y técnicos para futuras implementaciones.
- Se identificaron y seleccionaron las técnicas que minimizan el impacto visual y estructural en el Centro Histórico del Cusco, mediante un estudio comparativo de métodos de despliegue cumpliendo con los estándares requeridos, según el capítulo 4.
- Como se detalla en el capítulo 5, la red de fibra óptica diseñada para el Centro Histórico del Cusco se adaptó específicamente a las restricciones y necesidades del área, resultando en un diseño innovador que respeta el entorno histórico mientras proporciona una infraestructura de telecomunicaciones moderna y eficiente.
- La validación del diseño, expuesta en el capítulo 7, apoyada por análisis teóricos detallados y simulaciones computacionales, ha confirmado la robustez y adaptabilidad del diseño frente a diversos escenarios operativos. Este proceso ha validado eficazmente el diseño, destacando la consistencia del factor Q superior a 10 y reflejando óptimas estimaciones de potencias recibidas, lo cual evidencia la alta calidad de la señal y la precisión del diseño.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios a largo plazo que evalúen el impacto ambiental y estructural del despliegue de redes ópticas en zonas patrimoniales, asegurando que las soluciones adoptadas mantengan su viabilidad y respeto por el patrimonio a lo largo del tiempo.
- Se recomienda considerar esta tesis como referencia para el diseño y despliegue de redes ópticas en otras zonas monumentales similares, como Pisac y Ollantaytambo. Estas localidades, al igual que el Centro Histórico del Cusco, requieren de tecnologías que respeten y preserven su patrimonio cultural. Dada la proximidad geográfica y las características culturales compartidas, los hallazgos y metodologías propuestas aquí podrían adaptarse eficazmente para proteger y realzar estos entornos valiosos.
- Se recomienda explorar la integración de nuevas tecnologías emergentes, como las técnicas de *microtrenching* menos invasivas, para minimizar aún más el impacto visual y físico en el Centro Histórico del Cusco.
- Se recomienda fomentar la colaboración entre ingenieros, arquitectos, abogados, historiadores y autoridades locales para desarrollar normativas más específicas que guíen la implementación de infraestructuras tecnológicas en áreas patrimoniales, asegurando que todos los aspectos sean considerados.
- Se recomienda implementar prototipos o proyectos piloto en áreas seleccionadas del Centro Histórico del Cusco para evaluar la eficacia de las técnicas de despliegue propuestas, permitiendo ajustes en tiempo real basados en observaciones directas y *feedback* de la comunidad.

Bibliografía

- [1] Corning Optical Communications, *Comprehensive Micro Cabling Solutions and Installation Guide*. Corning, NY, USA, June 2024.
- [2] I. T. Union, “Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification,” Tech. Rep. T-REC-G.984.2, International Telecommunication Union, 8 2019. Recommendation ITU-T G.984.2.
- [3] Municipalidad del Cusco, “Plan maestro del centro histórico del cusco,” Ordenanza Municipal 24-2018-MPC, Municipalidad del Cusco, Cusco, Perú, 9 2018. Ordenanza Municipal N°24-2018-MPC.
- [4] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson educación, 2003.
- [5] R. Ramaswami, K. Sivarajan, and G. Sasaki, *Optical networks: a practical perspective*. Morgan Kaufmann, 2009.
- [6] Corning Optical Communications, “Air-assisted cable installation techniques,” Application Engineering Note AEN 049, Revision: 9, Corning Optical Communications, 4200 Corning Place, Charlotte, North Carolina 28216, December 2022.
- [7] J. A. M. Pereda, *Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones*. Fuera de colección Out of series, Pearson Educación, 2004.
- [8] J. F. Sánchez, *Topologías de redes de fibra óptica y gestión de fallos*. 2013.
- [9] VIAVI Solutions Inc., “¿qué es la ftx?.” Web page, 2024.
- [10] S. D. Luz, “Redes cable topología de las redes de fibra óptica ftx,” 2023.

- [11] G. ITU-T, “989.2 40-gigabit-capable passive optical networks 2 (ng-pon2): Physical media dependent (pmd) layer specification,” *Intellectual Property rights in ITU-T [en línea]. En vigor diciembre*, 2014.
- [12] J. C. C. Martínez, “Guía para la elaboración de propuestas legislativas,” tech. rep., Centro de Estudios Constitucionales y Parlamentarios, Congreso de la República del Perú, Lima, Perú, Diciembre 2023. Serie: Cuadernos de Capacitación Parlamentaria.
- [13] Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), “Conexiones de internet fijo con fibra óptica crecieron 61.66% al primer semestre de 2024,” reporte estadístico, OSIPTEL, Perú, August 2024.
- [14] M. de Energía y Minas del Perú, “Código nacional de electricidad - suministro,” código nacional de electricidad, Viceministerio de Energía, Dirección General de Electricidad, Lima, Perú, 2011.
- [15] International Telecommunication Union, “L.155: Técnica de impacto reducido para la excavación de zanjas para las redes FTTx,” Recomendación ITU-T L.155, ITU, 11 2016.
- [16] Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), “Acceso a internet fijo creció a doble dígito y cierra el primer trimestre de 2024 con 3.66 millones de conexiones,” reporte estadístico, OSIPTEL, Perú, May 2024.
- [17] Safesite, “Excavar en profundidad: La guía definitiva de seguridad en la excavación.” Sitio web, 2021. Último acceso: 05 de Junio del 2024.
- [18] Dura-Line, “Guía de instalación de microzanjas.” Available online, 2024.
- [19] N. Masini, G. Leucci, D. Vera, M. Sileo, A. Pecci, S. Garcia, R. López, H. Holguín, and R. Lasaponara, “Towards urban archaeo-geophysics in peru. the case study of plaza de armas in cusco,” *Sensors*, vol. 20, no. 10, p. 2869, 2020.
- [20] International Telecommunication Union, “L.153: Técnica de instalación con minizanjias,” Recomendación ITU-T L.153, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.48 en marzo de 2003.

- [21] T. Grimsley, "A brief history of dura-line," technical report, Dura-Line, Middlesboro, KY, USA, May 2019. Proprietary and Confidential, Available from Dura-Line.
- [22] Dura-Line, "Futurepath flex." Available online, 2024.
- [23] Telmark, "Soluciones de redes microcanalizadas." Available online, 2024.
- [24] M. P. d. C. Oficina de Catastro, "Plano catastral del centro histórico de cusco 2024." CD-ROM proporcionado por la Subgerencia de Ordenamiento Territorial, 2024. Documento bajo la Ley 27806 - Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública.
- [25] Optiwave Systems Inc., "Optisystem version 21.0." Software, 2024.
- [26] ONU, "Promoción, protección y disfrute de los derechos humanos en internet." Resolución aprobada por el Consejo de Derechos Humanos, julio 2016.
- [27] OSIPTEL, "Conexiones al servicio de acceso a internet fijo creció 5.1 % al cierre del primer semestre de 2023," Reporte Estadístico 6, 8 2023.
- [28] Presidencia de la República del Perú, "Texto Único ordenado de la ley de telecomunicaciones." Decreto Supremo N° 013-93-TCC, 1993.
- [29] Congreso de la República del Perú, "Ley de promoción de la banda ancha y construcción de la red dorsal nacional de fibra Óptica." El Peruano, 7 2012.
- [30] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Reglamento de la ley n° 29904," Decreto Supremo 014-2013-MTC, El Peruano, 11 2013.
- [31] Municipalidad del Cusco Ordenanza Municipal 115-MC, 2005.
- [32] Congreso de la República del Perú, "Ley n° 30228 - ley que modifica la ley 29022, ley para la expansión de infraestructura en telecomunicaciones." El Peruano, 7 2014.
- [33] Congreso de la República del Perú, "Ley 28296 - ley general del patrimonio cultural de la nación." Diario Oficial El Peruano, 2004.
- [34] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Reglamento de la ley n° 29022 - ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones." Decreto Supremo N° 003-2015-MTC, 2015. Publicado en el diario oficial El Peruano.

- [35] Ministerio de Justicia y Derechos Humanos del Perú, “Sistema peruano de información jurídica (spij),” 2024.
- [36] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Decreto supremo n° 007-2024-mtc que aprueba el reglamento de la ley n° 31595,” Decreto Supremo 014-2013-MTC, El Peruano, 03 2024.
- [37] Congreso de la República del Perú, “Ley N°31595: Ley que promueve la descontaminación ambiental y establece el retiro del cableado aéreo en desuso o en mal estado en las zonas urbanas del país.” Diario Oficial El Peruano, 2024.
- [38] R. Hernández, *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana, 6 ed., 2014.
- [39] J. Lozada, “Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria,” *CienciaAmérica*, vol. 3, no. 1, pp. 47–50, 2014.
- [40] A. Jiménez, “Diseño y caracterización de una red de fibra Óptica (ftth) para una población,” trabajo final de grado, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2023.
- [41] C. Paz, “Proyecto de red de distribución de fibra optica para nueva urbanización,” trabajo final de grado, Universidad Oberta de Catalunya, España, 2022.
- [42] A. Torres . J. Espinoza, “Red gpon para mejorar el acceso a los servicios de internet y cable en los abonados de home tv del distrito de tuman,” tesis, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú, 2021.
- [43] R.Morales A.Quiña, “Diseño de la red ffth del barrio la leon chilibu para la empresa arteksolution cia.ltda,” trabajo de titulación, UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE QUITO, Ecuador, 2020.
- [44] M. C. España Boquera, “Comunicaciones ópticas conceptos esenciales y resolución de ejercicios,” *España, Universidad de Málaga, Facultad de Ingeniería de Comunicaciones*, 2005.
- [45] Organización de los Estados Americanos (OEA), “Boletín electrónico n°70 - abril.” CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones), 4 2010.

- [46] I. A. Vargas, “Sistemas de fibra óptica,” *Mexico: Prenti Hall*, 2014.
- [47] H. Kelsen, *Teoría Pura del Derecho*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), 1982.
- [48] M. de Energía y Minas del Perú, “Código nacional de electricidad - utilización,” código nacional de electricidad, Dirección General de Electricidad, Lima, Perú, 2006.
- [49] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “30 ec.040 redes e instalaciones de comunicaciones.” Parte del Reglamento Nacional de Edificaciones, Decreto Supremo No. 011-2006-VIVIENDA, 2011. Publicado como parte del Decreto Supremo N° 006-2011.
- [50] L. Vinatea Recoba, “Convergencia: Necesidad de iniciar un cambio regulatorio para las telecomunicaciones en el Perú,” in *Derecho y Sociedad*, pp. 180–186, Sistema de Bibliotecas de la Facultad de Derecho PUCP, 26 ed., 2006.
- [51] Presidencia de la República del Perú, “Texto Único ordenado del reglamento general de la ley de telecomunicaciones.” Decreto Supremo N° 020-2007-MTC, 2007.
- [52] J. P. Anaya, *Telecomunicaciones en el Perú: El marco jurídico*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 1 ed., April 2001.
- [53] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Reglamento nacional de edificaciones.” Decreto Supremo No. 011-2006-VIVIENDA, 2006. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
- [54] Movistar, “Más de 55 mil de hogares en cusco tendrán posibilidad de acceder al servicio de fibra óptica de movistar al cierre del 2023.” Telefónica del Perú, 2023. Último acceso: 19 de febrero del 2024.
- [55] Movistar Perú, “Ofertas de paquetes 'trío' de Movistar para hogar.” Sitio web, 2023. Último acceso: 23 de febrero del 2024.
- [56] J. Lopez, “¿Cuántos teléfonos públicos hay en Perú en 2023? Telefónica revela cifra y su situación actual.” *La República*, dic 2023.

- [57] Sub dirección de Análisis Regulatorio, Dirección de Políticas Regulatorias y Competencia, “Los servicios públicos de telecomunicaciones en los hogares peruanos: Encuesta residencial de servicios de telecomunicaciones (erestel) 2022,” tech. rep., OSIPTEL, Oct 2022.
- [58] C. Barriga, “Análisis del mercado de televisión de paga en el Perú,” documento de trabajo gprc, OSIPTEL, 2014. Derechos reservados.
- [59] L. Vinatea Recoba, “La integración de los servicios de telecomunicaciones y lo que se requiere para implementarla,” in *Derecho y Sociedad*, pp. 49–52, Sistema de Bibliotecas de la Facultad de Derecho PUCP, 36 ed., 2011.
- [60] M. del Cusco, “Reglamento del plan maestro del centro histórico del Cusco 2018-2028,” plan maestro, Municipalidad del Cusco, Cusco, Perú, 2018. Tomo II.
- [61] OSIPTEL, “Reporte estadístico n°5,” tech. rep., Oficina de Comunicaciones y Relaciones Institucionales, OSIPTEL, 2023.
- [62] Municipalidad Provincial del Cusco, “Plan de Desarrollo Urbano Cusco al 2023,” plan de desarrollo urbano, Municipalidad Provincial del Cusco, 2023.
- [63] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “45 a.110 comunicación y transporte.” Parte del Reglamento Nacional de Edificaciones, Decreto Supremo No. 011-2006-VIVIENDA, 2006. Publicado como parte del Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA.
- [64] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Em.020 instalaciones de telecomunicaciones.” Parte del Reglamento Nacional de Edificaciones, Resolución Ministerial N° 400-2018-VIVIENDA, 2018. Norma técnica modificada por la Resolución Ministerial N° 400-2018-VIVIENDA.
- [65] Congreso de la República del Perú, “Ley n° 29022: Ley para el fortalecimiento de la expansión de infraestructura en telecomunicaciones.” *El Peruano*, 2006. Modificada por Ley N° 31456 el 22 abril 2022 y por Decreto Legislativo N° 1217 el 24 septiembre 2015.

- [66] Municipalidad Provincial del Cusco, “Reglamento de la ordenanza municipal no. 033-2011: Recuperación de la imagen urbana - descontaminación visual.” Documento oficial proporcionado por la Municipalidad Provincial del Cusco, 2011. Disponible en el Palacio Municipal, Plaza Cusipata, Cusco, Perú.
- [67] International Telecommunication Union, “Características de una fibra óptica monomodo y cable,” Recomendación ITU-T G.652, ITU, 11 2016. Publicado inicialmente el 2 de febrero de 2017, reemplazado el 11 de mayo de 2017 para actualizar la sección Historial.
- [68] International Telecommunication Union, “Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada,” Recomendación ITU-T G.653, ITU, 07 2010.
- [69] International Telecommunication Union, “Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado,” Recomendación ITU-T G.654, ITU, 03 2020.
- [70] International Telecommunication Union, “Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula,” Recomendación ITU-T G.655, ITU, 11 2009.
- [71] International Telecommunication Union, “Características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha,” Recomendación ITU-T G.656, ITU, 7 2010.
- [72] International Telecommunication Union, “Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión,” Recomendación ITU-T G.657, ITU, 11 2016. El archivo publicado inicialmente el 13 de febrero de 2017 fue reemplazado el 11 de mayo de 2017 para actualizar la sección Historial.
- [73] International Telecommunication Union, “G.983.1: Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas,” Recomendación ITU-T G.983.1, ITU, 01 2005.
- [74] International Telecommunication Union, “G.983.2: Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas de banda ancha,” Recomendación ITU-T G.983.2, ITU, 07 2005. Incorpora y reemplaza el

contenido de las Recomendaciones ITU-T G.983.6 (2002), G.983.7 (2001), G.983.8 (2003), G.983.9 (2004) y G.983.10 (2004).

- [75] International Telecommunication Union, “G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits - Características generales,” Recomendación ITU-T G.984.1, ITU, 03 2008.
- [76] International Telecommunication Union, “G.671: Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos,” Recomendación ITU-T G.671, ITU, 08 2019.
- [77] International Telecommunication Union, “L.150: Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso,” Recomendación ITU-T L.150, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.35 en octubre de 1998.
- [78] International Telecommunication Union, “L.250: Topologías de las redes de acceso óptico para los servicios de banda ancha,” Recomendación ITU-T L.250, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.90 en febrero de 2012.
- [79] International Telecommunication Union, “L.102: Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas,” Recomendación ITU-T L.102, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.26 en agosto de 2015.
- [80] International Telecommunication Union, “L.152: Utilización de las técnicas de tendido sin zanja en la construcción de infraestructuras subterráneas para la instalación de cables de telecomunicación,” Recomendación ITU-T L.152, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.38 en septiembre de 1999.
- [81] International Telecommunication Union, “L.154: Técnica de instalación con microzanjas,” Recomendación ITU-T L.154, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.49 en marzo de 2003.
- [82] International Telecommunication Union, “L.159: Instalación de cables en ductos de alcantarillado,” Recomendación ITU-T L.159, ITU, 2 2016. Publicado originalmente como UIT-T L.77 en mayo de 2008.
- [83] International Telecommunication Union, “L.162: Tecnología de microductos y sus aplicaciones,” Recomendación ITU-T L.162, ITU, 11 2016.

- [84] ISO/IEC, “ISO/IEC 9314-21:2000, Tecnología de la información – Interfaz Distribuida de Datos por Fibra (FDDI),” Norma Internacional ISO/IEC 9314-21:2000, Organización Internacional de Normalización y Comisión Electrotécnica Internacional, 10 2000.
- [85] ISO/IEC, “ISO/IEC 11801-1:2017, Tecnologías de la información – Cableado genérico para instalaciones del cliente. Parte 1: Requisitos generales,” Norma Internacional ISO/IEC 11801-1:2017, Organización Internacional de Normalización y Comisión Electrotécnica Internacional, 11 2017.
- [86] ISO/IEC, “ISO/IEC 14763-1, Tecnología de la información – Implementación y operación del cableado de permisos del cliente: Parte 1: Administración,” Norma Internacional ISO/IEC 14763-1, Organización Internacional de Normalización y Comisión Electrotécnica Internacional.
- [87] ISO/IEC, “ISO/IEC 30129:2015, Tecnologías de la información – Redes de unión de telecomunicaciones para edificios y otras estructuras,” Norma Internacional ISO/IEC 30129:2015, Organización Internacional de Normalización y Comisión Electrotécnica Internacional, 10 2015.
- [88] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 50173-1:2018, Tecnología de la información. Sistemas de cableado genérico. Parte 1: Requisitos generales,” Norma Internacional Ratificada UNE-EN 50173-1:2018, Asociación Española de Normalización, 7 2018.
- [89] Asociación Española de Normalización, “EN 50174-1:2018 Tecnología de la información. Instalación del cableado. Parte 1: Especificación de la instalación y aseguramiento de la calidad,” Norma Internacional EN 50174-1:2018, Asociación Española de Normalización, Aug. 2018.
- [90] Asociación Española de Normalización, “EN 50346:2004/A2:2011 Tecnologías de la información. Instalación de cableado. Ensayo de cableados instalados,” Norma Internacional EN 50346:2004/A2:2011, Asociación Española de Normalización, Jan. 2011.

- [91] Asociación Española de Normalización, “EN 50310:2016 Redes de enlace de telecomunicaciones para edificios y otras estructuras,” Norma Internacional EN 50310:2016, Asociación Española de Normalización, Nov. 2016.
- [92] Gobierno del Estado de Tabasco, Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, *Guía para Aplicar la Norma TIA/EIA 568 para Cableado Estructurado*. Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (DGTIC), Tabasco, México.
- [93] National Electrical Contractors Association and The Fiber Association, 3 Bethesda Metro Center, Suite 1100, *NECA/FOA-301: Estándar for Installing and Testing Fiber Optics*, 2016.
- [94] IEEE 802.3 Ethernet Working Group, “Presentation on IEEE 802.3 Ethernet Architecture.” IEEE 802 Technical Plenary, July 2022.
- [95] UNESCO, “Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural.” Conferencia General de la UNESCO, 11 1972.
- [96] II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, “Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia),” in *Congreso celebrado en Venecia*, (Venecia, Italia), may 1964. Adoptada por ICOMOS en 1965.
- [97] UNESCO, “Recomendación sobre la Conservación y Gestión de Centros Históricos Inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial,” tech. rep., UNESCO, San Petersburgo, Rusia, 2007.
- [98] Conferencia Internacional de Conservadores de Monumentos Artísticos e Históricos, “Carta de Atenas para la Conservación de los Monumentos Históricos,” 1931. Adoptada en Atenas, Grecia, documento fundamental en la historia de la conservación del patrimonio arquitectónico y cultural.
- [99] G. Zandegui, R. Soeiro, C. M. Larrea, J. M. Vargas, A. Moreno, O. De la Torre, E. W. Newton, J. González-Valcárcel, C. Flores Marini, M. E. Del Monte, M. Del Castillo Negrete, B. Carrión, H. Crespo, F. Samaniego, C. Zevallos, M. A. Vasco, C. Tunnard,

- J. Luján M., F. Silva-Santisteban, G. Gasparini, and L. De Camacho, “Normas de quito: Informe final de la reunión sobre conservación y utilización de monumentos y lugares de interés histórico y artístico,” informe técnico, Informe recuperado desde Instituto del Patrimonio Cultural de España, 1967.
- [100] Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), “Carta Internacional para la Conservación de Ciudades Históricas y Áreas Urbanas Históricas (Carta de Washington 1987),” Documento Internacional, Asamblea General del ICOMOS, Washington D.C., 10 1987.
- [101] Congreso de la República del Perú, *Manual de Técnica Legislativa*. Congreso de la República del Perú, Lima, Perú, 3 ed., 2021. Aprobado por Acuerdo de Mesa Directiva 106-2020-2021/MESA-CR.
- [102] Dura-Line, *MicroTrenching: Comprehensive Solutions and Installation Guide*. Knoxville, TN, USA, April 2019.
- [103] Dura-Line, “MicroDuct HDPE 14/10 Technical Data Sheet,” datasheet, Dura-Line, United States, June 2024.
- [104] Dura-Line, “FuturePath 2-way 14/10 mm Technical Data Sheet,” datasheet, Dura-Line, United States, June 2024.
- [105] Dura-Line, “FuturePath Flex 2-way 12.7/10 mm Technical Data Sheet,” datasheet, Dura-Line, United States, June 2024.
- [106] Channell Commercial Corporation, “BULK 0 Series Technical Specifications,” datasheet, Channell Commercial Corporation, United States, August 2018.
- [107] Channell Commercial Corporation, “BULK 8 Series: Technical Specifications,” datasheet, Channell Commercial Corporation, 2018.
- [108] Y. B. Choque Aramburu, “Estudio y propuesta de diseño de una red fth en el distrito de huayllabamba-urubamba,” tesis, Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Perú, 2024.

- [109] R. de Construyendo.pe, “Obras públicas podrían costar hasta 50 % más de lo previsto en contrato,” 2024.
- [110] A. J. V. Núñez, “Los adicionales de obra mayores al 15 % del monto del contrato y su implicancia en el sistema normativo peruano,” Master’s thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2024.

ANEXOS

PODER LEGISLATIVO
CONGRESO DE LA REPUBLICA
LEY N° 31595

 EL PRESIDENTE DEL CONGRESO
 DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

**LEY QUE PROMUEVE LA DESCONTAMINACIÓN
 AMBIENTAL Y ESTABLECE EL RETIRO DEL
 CABLEADO AÉREO EN DESUSO O EN MAL
 ESTADO EN LAS ZONAS URBANAS DEL PAÍS**
Artículo 1.- Objeto de la Ley

La presente ley tiene por objeto establecer la descontaminación ambiental mediante el retiro del cableado aéreo de los servicios de electricidad y de telecomunicaciones que se encuentren en mal estado o en desuso en las zonas urbanas del país, a fin de garantizar la seguridad de la población y el derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado.

Artículo 2.- Ámbito de aplicación de la Ley

La presente ley se aplica a las zonas urbanas donde se detecte instalaciones de cableado aéreo en mal estado o en desuso. Se entiende por zona urbana las áreas definidas por la Ley 30477, Ley que regula la ejecución de obras de servicios públicos autorizadas por las municipalidades en las áreas de dominio público.

Artículo 3.- Retiro del cableado

Las empresas concesionarias de servicios de electricidad y de telecomunicaciones, así como las empresas proveedoras de infraestructura pasiva de telecomunicaciones, según corresponda, en un plazo no mayor a veinticuatro meses, contados desde la entrada en vigencia del reglamento de la presente ley, deben retirar el cableado aéreo en desuso o en mal estado que se encuentre en las zonas urbanas, sin trasladar los costos del retiro en las tarifas al público consumidor.

Artículo 4.- Supervisión

El retiro del cableado queda sujeto a la supervisión ambiental por parte de la entidad de fiscalización ambiental competente, de acuerdo con las normas del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Asimismo, queda sujeto a la supervisión por parte de las municipalidades provinciales y distritales de la zona contaminada, únicamente en los aspectos de sus competencias, de conformidad con la Ley 27972, Ley Orgánica de Municipalidades, y la Ley 30477, Ley que regula la ejecución de obras de servicios públicos autorizadas por las municipalidades en las áreas de dominio público. De ser el caso, las autoridades señaladas en este artículo coordinan con los organismos reguladores respectivos, conforme a sus competencias.

Artículo 5.- Sanción por incumplimiento

El incumplimiento de lo dispuesto en el artículo 3 constituye infracción muy grave sancionable con multa impresa por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), por el monto comprendido entre 5 y 20 UIT, de acuerdo al marco normativo aplicable.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA
Única.- Reglamento

El Poder Ejecutivo, en un plazo de noventa (90) días calendario contados desde la fecha de publicación

de la presente ley, aprueba y publica los reglamentos de la presente ley y de la Ley 30477, Ley que regula la ejecución de obras de servicios públicos autorizadas por las municipalidades en las áreas de dominio público.

POR TANTO:

Habiendo sido reconsiderada la Ley por el Congreso de la República, insistiendo en el texto aprobado en sesión del Pleno realizada el día nueve de junio de dos mil veintidós, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 108 de la Constitución Política del Perú, ordeno que se publique y cumpla.

En Lima, a los veintiséis días del mes de octubre de dos mil veintidós.

 JOSÉ DANIEL WILLIAMS ZAPATA
 Presidente del Congreso de la República

 MARTHA LUPE MOYANO DELGADO
 Primera Vicepresidenta del Congreso de la República

2120017-1

LEY N° 31596

 EL PRESIDENTE DEL CONGRESO
 DE LA REPÚBLICA

POR CUANTO:

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA;

Ha dado la Ley siguiente:

**LEY QUE ESTABLECE MEDIDAS A FIN DE
 GARANTIZAR LA COBERTURA ADECUADA,
 CONTINUIDAD Y CALIDAD DEL SERVICIO DE
 TRANSPORTE PÚBLICO EN LIMA Y CALLAO**
Artículo 1.- Objetivos y finalidad

La presente ley tiene como objetivo establecer medidas a fin de garantizar la cobertura adecuada, continuidad y calidad del servicio de transporte público en Lima y Callao, con el fin de evitar consecuencias negativas como el desabastecimiento del servicio de transporte público-urbano, la informalidad y aquellas que se podrían producir como resultado de las afectaciones producidas por la pandemia COVID-19.

Artículo 2.- Modificación de los incisos a), e), g) y ñ) del artículo 6 de la Ley 30900, Ley que Crea la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU)

Se modifican los incisos a), e), g) y ñ) del artículo 6 de la Ley 30900, Ley que Crea la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU), los cuales quedan redactados con el siguiente texto:

“Artículo 6. Funciones de la ATU

La ATU, dentro del ámbito de su competencia, ejerce las siguientes funciones:

- a. Aprobar normas que regulen: la gestión y fiscalización de los servicios de transporte terrestre de personas que se prestan dentro del territorio, las condiciones de acceso y operación que deben cumplir los operadores, conductores y vehículos destinados a estos servicios; así como tipificar infracciones y sanciones administrativas en el ámbito de su competencia, aprobar su régimen de beneficios y ejecutoriedad, los cuales serán los establecidos en su marco normativo, sin perjuicio de la aplicación supletoria del régimen general.

[...]

- e. Aprobar las normas que regulen el Sistema Integrado de Transporte de Lima y Callao, así como

técnica favorable, dicha aprobación debe ser comunicada por la ORH o la que haga las veces de la entidad Tipo A a la ORH o la que haga las veces de la entidad Tipo B mediante oficio, para que gestione su aprobación, mediante los documentos que correspondan, según cuadro dispuesto en el numeral 6.3.1.8 de la Directiva, y posterior publicación en el Diario Oficial El Peruano, en el Portal del Estado Peruano, en el Portal Institucional, y/o en el diario encargado de las publicaciones judiciales de la jurisdicción, o en otro medio que asegure de manera ineludible su publicidad; dependiendo del nivel de gobierno de la entidad;

Que, en dicho contexto, la Unidad Funcional de Recursos Humanos propone el Manual de Clasificador de Cargos del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", el cual fue elevado a al titular del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, a fin de que este sea evaluado por la Oficina de Recursos Humanos del MTPE;

Que, mediante Oficio N° 000147-2024-MTPE/4/12, la Oficina de Recursos Humanos del MTPE, señala a este Programa que el proyecto de modificación del Manual de Clasificador de Cargos del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", se encuentra conforme; por lo que, puede seguir con la aprobación del mismo;

Que, a través del Informe N° 000069-2024-TPE/3/24.1.36, la Unidad Funcional de Recursos Humanos señala que teniendo en cuenta lo indicado por la Oficina General de Recursos Humanos, recomienda proseguir con el trámite de aprobación de modificación del Manual de Clasificador de Cargos del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", conforme a lo establecido en los numerales 6.1.8 y 6.1.9 de la Directiva;

Que, conforme al Manual de Operaciones del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", la Dirección Ejecutiva es la máxima autoridad ejecutiva y administrativa del Programa y tiene a su cargo la conducción y supervisión de la gestión del Programa;

Que, la Unidad Funcional de Asesoría Jurídica, a través del Informe N° 000099-2024-MTPE/3/24/1.1, considera que se ha cumplido con los requisitos y el procedimiento establecido en la Directiva N° 006-2021-SERVIR-GDSRH; por lo que, es legalmente procedente que la Dirección Ejecutiva apruebe, a través de una Resolución Directoral, la modificación del Manual de Clasificador de Cargos del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", aprobado con Resolución Directoral N° 161-2021-TP/DE, y modificado con Resolución Directoral N° 092-2023-LP/DE;

Que, en base a lo expuesto, resulta pertinente emitir la Resolución Directoral respectiva, que apruebe la modificación del Manual de Clasificador de Cargos del Programa para la Generación de Empleo Social Inclusivo "Trabaja Perú"; actualmente, Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú";

Con los visados de las Unidades Funcionales de Recursos Humanos; de Planeamiento y Presupuesto, y de Asesoría Jurídica; y,

De conformidad con lo dispuesto por el Decreto Supremo N° 012-2011-TR, modificado por los Decretos Supremos Nros. 004-2012-TR, 006-2017-TR, 004-2020-TR, la Ley N° Ley N° 31153 y el Decreto Supremo N° 009-20203-TR, que crea el Programa para la Generación de Empleo Social Inclusivo "Trabaja Perú", el Decreto Supremo N° 009-2023-TR, que crea el Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", el Manual de Operaciones del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", aprobada por Resolución Ministerial N° 025-2024-TR, la Ley N° 30057, Ley del Servicio Civil, y sus modificatorias, y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 040-2014-PCM, y sus modificatorias, y la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 000150-2021-SERVIR-PE, que formaliza el acuerdo del Consejo Directivo mediante el cual se aprueba la Directiva N° 006-2021-SERVIR-GDSRH, "Elaboración del Manual de Clasificador de Cargos y del Cuadro para Asignación de Personal Provisional";

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Modificación del Manual de Clasificador de Cargos.

Modificar el Manual de Clasificador de Cargos del Programa para la Generación de Empleo Social

Inclusivo "Trabaja Perú", actualmente, Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", aprobado mediante Resolución Directoral N° 161-2021-TP/DE, y modificado con Resolución Directoral N° 092-2023-LP/DE, conforme al anexo que forma parte integrante de la presente Resolución Directoral.

Artículo 2.- Publicación.

Disponer la publicación de la presente Resolución Directoral en el Diario Oficial "El Peruano", asimismo, disponer la publicación de la presente Resolución Directoral y su Anexo en el Portal Institucional y Portal de Transparencia del Programa de Empleo Temporal "Llamkasun Perú", y en el Portal del Estado Peruano, en la misma fecha de la publicación de la presente Resolución Directoral en el Diario Oficial "El Peruano".

Regístrese, comuníquese y publíquese.

TUMI RIVAS JESSICA MILAGROS
 Directora Ejecutiva
 Programa Llamkasun Perú

2269315-1

TRANSPORTES Y
 COMUNICACIONES

Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Ley N° 31595, Ley que promueve la descontaminación ambiental y establece el retiro del cableado aéreo en desuso o en mal estado en las zonas urbanas del país

DECRETO SUPREMO
 N° 007-2024-MTC

LA PRESIDENTA DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 4 de la Ley N° 29370, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), establece que el MTC tiene competencia exclusiva, entre otras, en materia de infraestructura y servicios de comunicaciones;

Que, el artículo 4 de la Ley N° 30705, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), establece que el MINEM ejerce competencias en materia de energía, que comprende las actividades de electricidad e hidrocarburos, y de minería; asimismo, el numeral 5.2 del artículo 5 de la citada ley establece que el MINEM tiene competencia exclusiva para regular la infraestructura pública de carácter y alcance nacional en materia de energía y minería;

Que, de acuerdo con el artículo 4 del Decreto Legislativo N° 1013, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente (MINAM), esta entidad es el organismo rector del sector ambiental, que desarrolla, dirige, supervisa y ejecuta la política nacional del ambiente; comprendiendo las acciones técnico-normativas de alcance nacional en materia de regulación ambiental, entendiéndose como tal el establecimiento de la política, la normatividad específica, la fiscalización, el control y la potestad sancionadora por el incumplimiento de las normas ambientales en el ámbito de su competencia, la misma que puede ser ejercida a través de sus organismos públicos correspondientes;

Que, el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA), creado por la Ley N° 29325, Ley del SINEFA, es un sistema funcional que tiene como finalidad asegurar el cumplimiento de las obligaciones ambientales de los titulares de actividades fiscalizadas; así como, garantizar que las funciones de fiscalización ambiental a

International Telecommunication Union

ITU-T

TELECOMMUNICATION
STANDARDIZATION SECTOR
OF ITU

L.155

(11/2016)

SERIES L: ENVIRONMENT AND ICTS, CLIMATE
CHANGE, E-WASTE, ENERGY EFFICIENCY;
CONSTRUCTION, INSTALLATION AND PROTECTION
OF CABLES AND OTHER ELEMENTS OF OUTSIDE
PLANT

Optical fibre cables – Guidance and installation technique

**Low impact trenching technique for FTTx
networks**

Recommendation ITU-T L.155

ITU-T



MiniXtend® Cable with Binderless* FastAccess® Technology 144 F, SMF-28® Ultra fiber, Single-mode (G.652.D/G.657.A1)

CORNING

Part Number:
144ZM4-T3F22A20

Corning MiniXtend® Cable with Binderless* FastAccess® Technology is an all-dielectric loose tube cable designed for microduct applications and features industry-leading fiber density. The innovative Binderless FastAccess Technology improves cable handling and reduces access time up to 70 percent while lowering risk of cable and fiber damage. The MiniXtend Cable design reduces the cable diameter by up to 50 percent (versus traditional loose tube cables) which improves fiber density for duct applications and also enables new applications which can reduce total install cost by up to 60 percent. This cable also features Corning SMF-28® Ultra single-mode fiber which combines industry-leading attenuation and improved macrobend performance in one fiber. SMF-28 Ultra fiber is ITU-T Recommendation G.652.D compliant and also exceeds the requirements of the ITU-T Recommendation G.657.A1 standard. *Corning's patented Binderless FastAccess Technology refers to the combination of a Corning FastAccess Technology jacket with an innovative technology used to bind cable construction through the manufacturing process, eliminating the use of binder yarns and waterblocking tapes.

Features and Benefits

Binderless* FastAccess® Technology

Innovative cable design that reduces cable access time up to 70 percent and lowers the risk of inadvertent fiber damage

Improved cable and fiber density

Small cable OD enables higher density and lower deployment cost; up to 96 fibers in 8 mm ID duct and up to 144 fibers in 10 mm ID duct

Optimized for air-assisted install in microducts

Capable of installation distances greater than 2000 m (6560 ft) at speeds up to 150 m/min (490 ft/min)

Mid-span express buffer tube performance

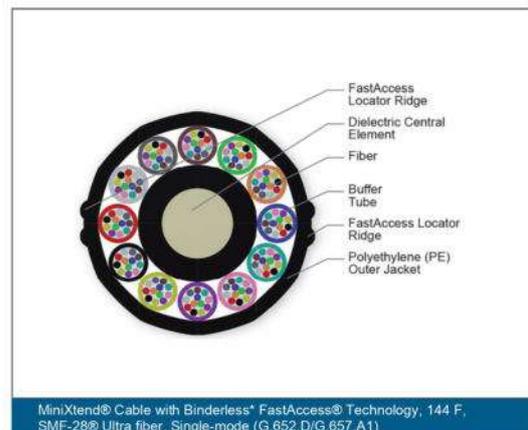
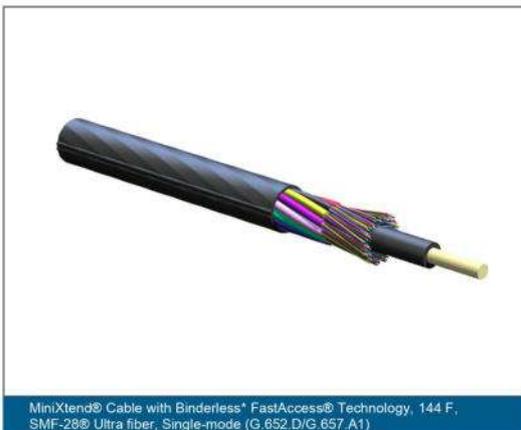
Meets the Telcordia GR-20 and RDUP/RUS PE-90 requirements for mid-span express buffer tube storage

SMF-28® Ultra fiber

ITU-T G.652.D/G.657.A1 rated fibre with improved attenuation and bend performance as well as compatibility with standard single-mode fibres

Fully waterblocked loose tube, gel-filled design

Meets industry standard waterblocking requirements for outdoor cable



Anexo E: Microducto HDPE.

MICRODUCTS TECHNICAL DATA SHEET

MICRODUCTS HDPE

MicroDuct HDPE 14/10



MicroDuct OD/ID	14/10
Nominal OD	0.55 in
Min. ID	9.8 mm
Weight	0.05 lb/ft
Bend Radius Sup	6 in
Bend Radius UnSup	11 in
Conduit SWPS	264 lbs

STANDARD DETAILS

DETAILS	MicroDucts are smaller diameter conduit, manufactured from flexible HDPE (High Density Polyethylene)
INSTALLATION TYPES	Subdivided Conduit, Overrides, Plow, Trench, Directional Bore, MicroTrench, Tray Installations
APPLICATION	This MicroDuct size has a thicker wall and is recommended for direct bury (DB) applications either alone or in a FuturePath configuration, and will maintain optimal fill ratios for faster, easier installations.
FILL RATIO	Choose the correct MicroDuct size based on the Outer Diameter (OD) of desired MicroCable. Dura-Line recommends a fill ratio of 50% to 75% for optimal cable placement performance. Several factors impact jetting distance including the condition of route, bends, and equipment.
COLORS	MicroDucts available in solid colors Blue, Orange, Green, Brown, Grey, White, Red, Black, Yellow, Lilac, Pink, Aqua, Terra Cotta, Lime Green, or custom colors with optional stripes
CONDUIT MARKINGS	Permanent marking along MicroDuct includes: material, relevant standards, production info, and sequential feet or meter markings. Custom options available.
CO-EXTRUDED LINING	SILICORE® ULF (Ultra-Low Friction) is co-extruded inside the HDPE wall creating a slick, permanent, interior lining. SILICORE® ULF exhibits no loss in performance over time or in extreme temperature conditions.
INTERNAL RIBS	Standard (except 3.5mm ID which are designed with a standard smooth interior)

OPTIONS

PRE-INSTALLED STRING	Factory pre-installed Pull String available in MicroDucts to aid in cable placement.
PRE-INSTALLED FIBER	Fiber cable or cordage can be factory pre-installed in MicroDucts

REEL SPECIFICATIONS

REEL SIZE	STANDARD LENGTH	REEL TYPE
24 x 19 in	1500 ft	Wood
35 x 26 in	4500 ft	Wood
42 x 31 in	8500 ft	Plastic

PRODUCT COMPLIANCE

We offer an extensive portfolio of US-made conduit products and accessories that conform with several domestic preference standards, including Buy America (BAA), Build America, Buy America (BABA), and DOT Buy American requirements. Any products including a locate wire or preinstalled cables, will need to be specifically evaluated. Fire Retardant Resins may also require additional evaluation to meet program guidelines. Please contact your Dura-Line representative for more information.



† Safe working pull strength is calculated at 80% of tensile or breaking strength

* Unsupported Bend Radius guidelines should be followed during the installation process. The Supported Bend Radius are post-installation measurements.

Anexo F: Cámara tipo BULK.

BULK 3 Series **TECHNICAL SPECIFICATIONS**

THE NEW SOLUTION



SPECIFICATION	PROOF LOAD	PRODUCTS
AMERICAS		
STANDARDS		
Pedestrian/Light Duty	3,000 lbf (13.5 kN)	BULK
ANSI/SCTE 77 TIER 22	33,750 lbf (150 kN)	BULK
AASHTO M-306-10 H 20	40,000 lbf (178 kN)	BULK
AASHTO M-306-10 H 25	50,000 lbf (222.4 kN)	BULK
ASTM-457	46,000 lbf (205 kN)	BULK
EMEA		
STANDARDS		
Pedestrian/Light Duty	2,250 lbf (10 kN)	BULK
EN 124 Class B125	28,100 lbf (125 kN)	BULK
EN 125 Class C125	56,200 lbf (250 kN)	BULK
APAC		
STANDARDS		
Pedestrian/Light Duty	3,370 lbf (15 kN)	BULK
AS3996-Class B	18,000 lbf (80 kN)	BULK
AS3996-Class C	33,750 lbf (150 kN)*	BULK



All-optical Access Platform OLT

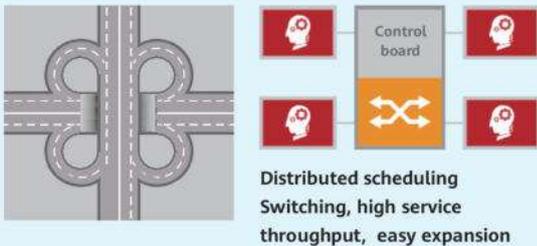
SmartAX MA5800

Best OLT Platform in the Gigabit Ultra-broadband Era

- ◆ The MA5800 series multi-service access device is the first OLT in the industry with distributed architecture. It provides a unified carrying platform for multiple services, such as broadband, wireless, video, and monitoring.
- ◆ The MA5800 provides GPON, XG-PON, XGS-PON, and 10GE/GE access, and supports FTTH, FTTD, FTTB, and FTTC network construction modes. This makes it applicable to home access, enterprise access, mobile backhaul, and Wi-Fi hotspot backhaul scenarios.

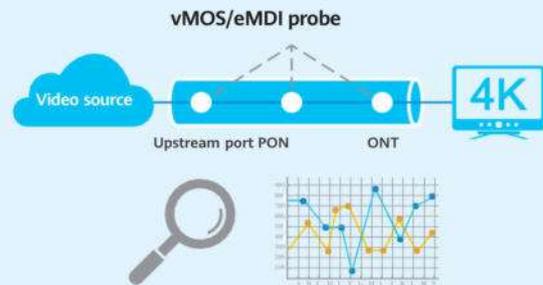
Distributed Architecture

Service processing, previously centered on the control board, is now distributed to every service board. The system switching capacity and performance are improved, with the throughput of a single slot reaching up to 200 Gbit/s. This ensures smooth services and supports faster HD video startup and channel zapping.



Superior 4K/8K Video Experience

Distributed large caches prevent burst video packet loss. Built-in vMOS/eMDI probes monitor video quality and locate fault remotely. Online PON board upgrade without video interruption brings a better user experience.



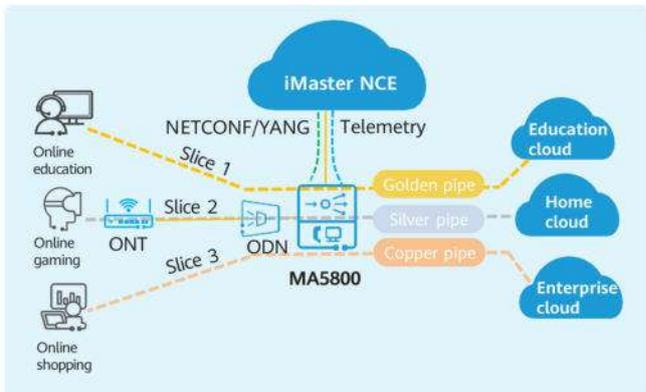
Flex-PON

A Flex-PON board supports GPON, XG(S)-PON, XGS-PON, and XG(S)-PON combo with the corresponding optical module, and reduces OPEX by smooth evolution without board replacement.



Slicing Technology

The E2E slicing technology provides differentiated bearing for services with different SLA requirements, achieving application-level bandwidth and latency commitment.





Nokia 7360 ISAM FX

ANSI

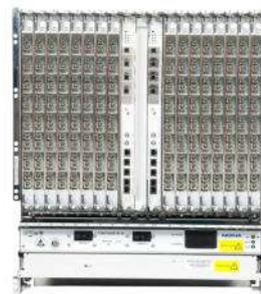
The Nokia 7360 Intelligent Services Access Manager (ISAM) FX is a high-capacity access node designed to deliver ultra-broadband services to any number of users in a rapid and cost-effective way. Because there is no single solution to bring ultra-broadband to the masses, the 7360 ISAM FX supports a mix of services including VDSL2 with vectoring, point-to-point, GPON, EPON (with DPoE) and 10G PON services. High-bandwidth throughput is guaranteed by backplane technology that enables dual 100Gb/s backplane connections to each line termination (LT) slot.

With three 7360 ISAM FX shelf sizes to choose from, service providers have maximum flexibility for deploying in central office, outside plant cabinet or other remote environments. With the 7360 ISAM FX, operators have the flexibility to deploy a mix of technologies that can deliver fast broadband, a faster time to market and the fastest possible return on investment.

Features

- High-capacity backplane: 2 x 100Gb/s per slot
- Four-slot (FX-4), eight-slot (FX-8) and 16-slot (FX-16) shelf options

- High-capacity 480Gb/s controllers (NT) with 40Gb/s network capacity (can be used as uplink, downlink or direct user link)
- Optional Network Termination Input Output (NTIO) for an additional 80Gb/s network capacity
- Full NT redundancy with Active/Active and load sharing options
- Added resiliency with MPLS, Ethernet Ring Protection Switching (ERPS) (G.8032) and Link Aggregation Group (LAG) support
- Simultaneous support of passive optical network (PON), point-to-point, POTS and VDSL2 with vectoring



7360 ISAM FX-16 — GPON shown



7360 ISAM FX-8 — VDSL2 Vectoring shown



7360 ISAM FX-4 — Multi-service shown



With the requirements of communication services increasing, the value-added services (VAS) including 3D network games, video conference/phone, Video on Demand (VoD) and IPTV are key means for operators to provide differential services to attract more subscribers, and gain income growth.

ZTE ZXA10 C320, a small size, full-service and future-proof optical access convergent platform, provides carrier class QoS and reliable network to meet the requirements for small-scale implementation of FTTx services.



Key Features

- Unified platform for GPON, EPON and P2P
- Small size and compact design, flexible network and fast deployment
- 2U frame with 2 service slots, compatible with ZXA10 C300 line cards
- Abundant service support capability: IPTV, VoIP, HSI, VPN, mobile backhaul, etc
- Diverse interfaces: P2MP/P2P /TDM interfaces for business and residential application
- Higher security assurance: ONT authentication, user ID identification, port isolation, address binding, packet filtering, and broadcast packet suppression.
- High reliability: key parts redundancy; support Type B and Type C protection for PON downlink and LACP/ STP/RSTP/MSTP/ZESR for uplink
- Service differentiation: Comprehensive QoS mechanisms for voice, video and high speed Internet services.
- Support DC input redundancy
- Support 1:1 protection for PON interfaces
- Support 1:1 protection for SW (core card) card
- Support Synchronous Ethernet and 1588v2

Technical Specifications

■ System Architecture

- Capacity
 - Backplane capacity : 420G bps
 - Matrix capacity: 84Gbps
 - Bandwidth per subscriber slot: 80Gbps
 - GPON up to 16 ports
 - EPON up to 16 ports
 - P2P up to 32/96 ports
 - Uplink interfaces up to 4 *GE (Optical)+2*GE(Electronic) or 2*10GE(Optical)+2*GE(Optical)+2*GE(Electronic)
 - E1/T1 up to 32 ports
- Chassis Configuration (19")
 - 5 slots
 - 2 slots for universal line cards
 - 2 slots for switch& control cards
 - 1 slot for fan module
- Subscriber Card Density
 - GPON card: 8 ports per card
 - EPON card: 8 ports per card
 - P2P card: 16/48 ports per card
 - GE card: 8 ports per card
 - 10G EPON card: 4 ports per card

Anexo I: Informe acceso a información pública



0020 452186

"AÑO DEL BICENTENARIO DE LA CONSOLIDACION DE NUESTRA INDEPENDENCIA Y DE LA CONMEMORACION DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNIN Y AYACUCHO"

INFORME N° 142-OC/GM-MPC-2024

A : ABOG. CARMEN CECILIA TAPIA LECHUGA
SECRETARIA GENERAL

DE : ARQ. RUBEN PUMAYALI PINO
(E) DIRECTOR DE LA OFICINA DE CATASTRO

ASUNTO: REMITE RESPUESTA A INFORMACION SOLICITADA.

REFERENCIA : MEMORANDUM N° 1149-2024-MPC-SG
CODIGO N° yqehvkwyo

FECHA : CUSCO, 08 DE JULIO DEL 2024.

Previo cordial saludo, por el presente, tengo el agrado de dirigirme a usted, a fin de poner en su conocimiento que el Sr. Abraham Choque Aramburu, quien solicita información del Plano Catastral Actualizado del Centro Histórico.

Al respecto debemos informar lo siguiente:

Realizada la búsqueda en nuestra base de datos se tiene dicha información para lo cual se adjunta 01 CD. remitimos el presente documento a fin de cumplimiento a lo requerido.

Sin otro particular quedo de usted,

Atentamente

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO
OFICINA DE CATASTRO
Arq. Rubén Pumayali Pino
(e) DIRECCIÓN DE OFICINA DE CATASTRO

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO
SECRETARIA GENERAL
RECIBIDO
Fecha: 09 JUL. 2024
Registro N° 1639
Hora 15:35 Firma: [Firma]

6/10/24
Dsa Respuest
a lo solicitado
9-7-2024

Anexo K: Carta acceso a información pública



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia, y de la Conmemoración de las heroicas Batallas de Junín y Ayacucho"

Cusco, 10 de julio de 2024

CARTA N° 517 -2024-MPC-SG

Señor:
ABRAHAM CHOQUE ARAMBURU
Dirección: San Sebastián
Correo electrónico: abrahamchoquearamburu@gmail.com
Celular: 916 499 549

Presente. -

Asunto : Respuesta a su solicitud
Referencia : a) Informe N° 142-OC/GM-MPC-2024
: b) código yqehvkwyo

Previo cordial saludo, por medio de la presente me dirijo a usted en atención al documento de la referencia b) donde su persona solicita plano catastral actualizado del Centro Histórico del Cusco.

Al respecto, con Informe N° 142-OC/GM-MPC-2024, el Director (e) de la Oficina de Catastro remite información solicitada en un CD.

Por lo señalado, toda información generada una respuesta que sea impreso o copia, será puesta a disposición del peticionante, previa presentación de la constancia de pago, en caso de existir costo de reproducción, dispuesto en el artículo 15° del reglamento de la Ley 27806 Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

En consecuencia, se cursa respuesta para su conocimiento y fines pertinentes. Se adjunta en UN CD.

Sin otro particular quedo de usted.

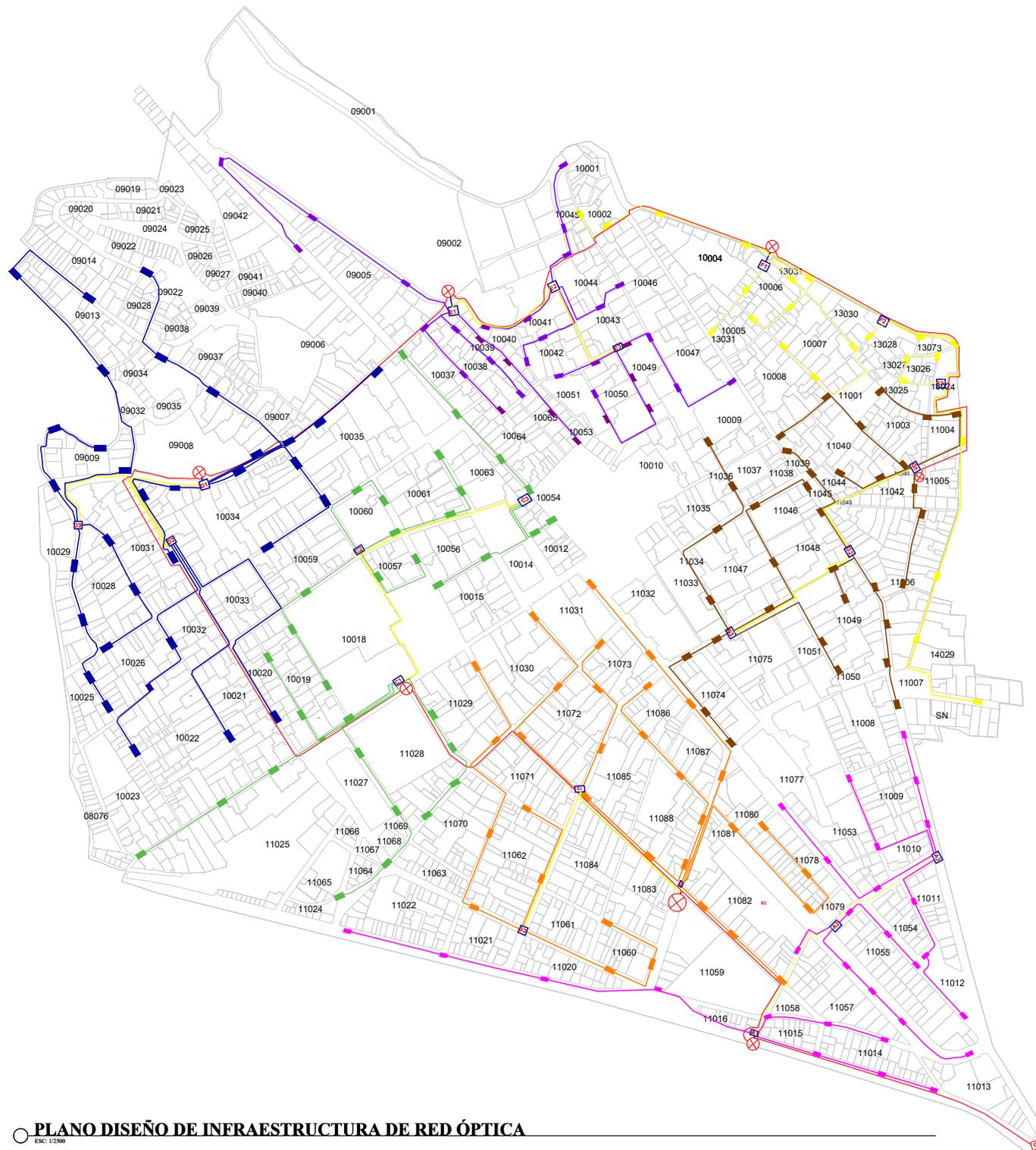
Atentamente,


MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO
Abg. C. CECILIA TAPIA LECHUGA
SECRETARÍA GENERAL

C.c.
S.G.
Archivo
CCTL/gbd

Palacio Municipal | Plaza Regocijo | 084 240006
www.cusco.gob.pe





PLANO DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE RED ÓPTICA
 ESC: 1:2500



TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

SEMBOLOGÍA:

- Legenda**
- ⊗ MUFA - CAJA DE DISTRIBUCIÓN
 - FIBRA ÓPTICA TRONCAL (180HILOS)
 - FIBRA ÓPTICA CONEXIÓN MUFA - 1ª CAJA DISTRIBUCIÓN
 - FIBRA ÓPTICA CONEXIÓN ENTRE CAJAS CAJA DE DISTRIBUCIÓN
 - CAJA FAT (TERMINAL DE ACCESO DE FIBRA)
 - CONTEO N° DE HILO DESELA CAJA DE DISTRIBUCIÓN (MÁXIMO 4)

Legenda colores red secundaria o red de distribución

- Subred secundaria M1 - A
- Subred secundaria M2 - B
- Subred secundaria M3 - C
- Subred secundaria M4 - D
- Subred secundaria M5 - E
- Subred secundaria M6 - F
- Subred secundaria M7 - G

TESIS:

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS EN EL MARCO REGULATIVO DE ZONAS MONUMENTALES DEL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO

ÁREA DE INTERVENCIÓN:

AE-1 Centro Histórico Del Cusco

LOCALIZACIÓN:

DEPARTAMENTO: CUSCO
 PROVINCIA: CUSCO
 DISTRITO: CUSCO

RESPONSABLE:

ABRAHAM CHIOQUE ARAMBURU

REVISADO POR:

MSC. JORGE LUIS ARIZACA CUSCUNA

ESCALA GRÁFICA:



PLANO (DISEÑO):

PLANO DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE RED ÓPTICA

ESCALA:

1:100

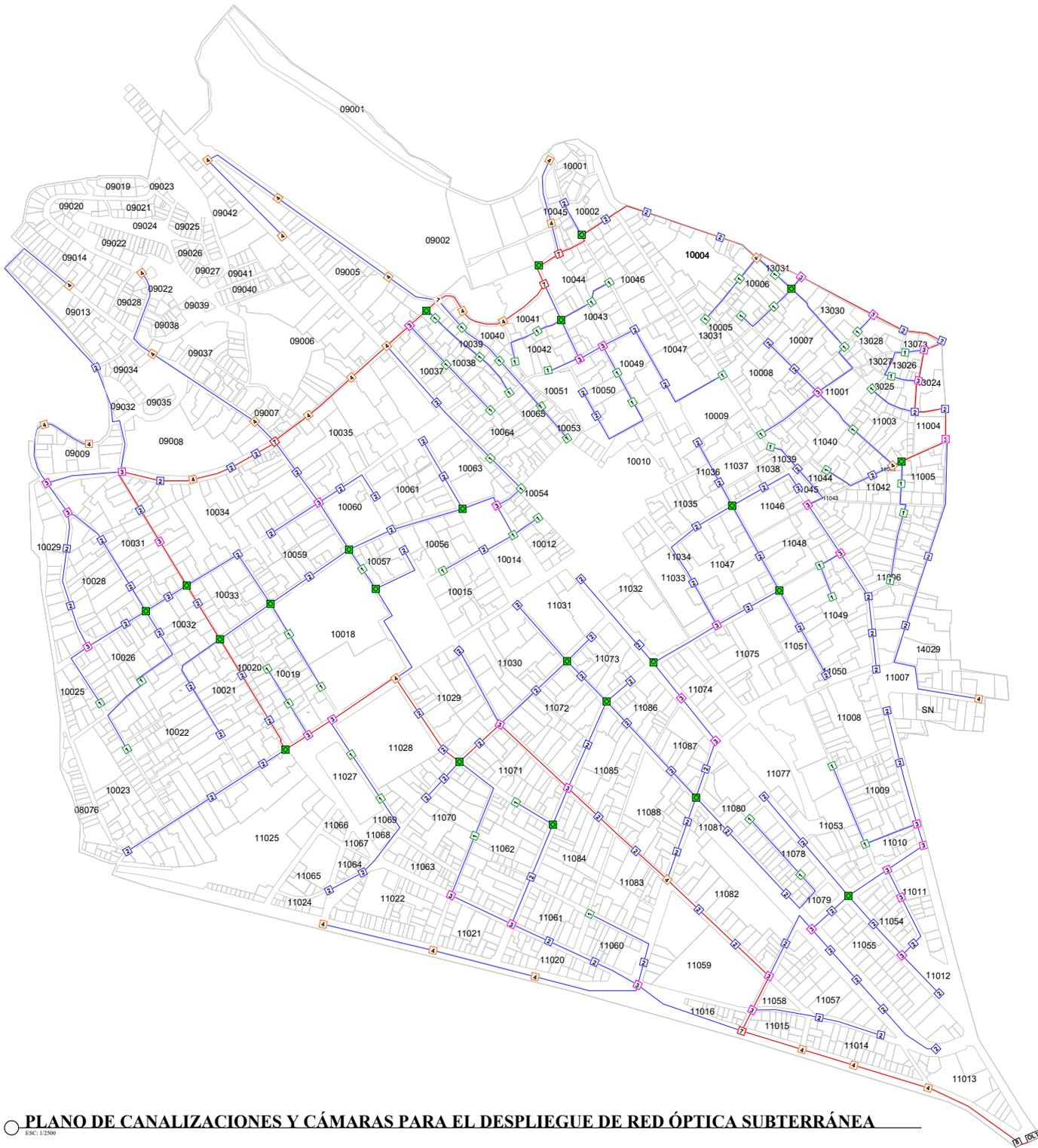
FECHA:

AGOSTO DEL 2024

LÁMINA:

RD-01





PLANO DE CANALIZACIONES Y CÁMARAS PARA EL DESPLIEGUE DE RED ÓPTICA SUBTERRÁNEA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:
 INGENIERO ELECTRÓNICO

- SEMBOLOGÍA:
- Legenda:
- Cámara Modelo "Bulk 0", Channel
 - 1 Cámara Modelo "Bulk 1", Channel
 - 2 Cámara Modelo "Bulk 2", Channel
 - 3 Cámara Modelo "Bulk 3", Channel
 - 4 Cámara Modelo "Bulk 4", Channel
 - 7 Cámara Modelo "Bulk 7", Channel
 - 8 Cámara Modelo "Bulk 8", Channel
 - Canalización Red Distribución
 - Canalización Troncal

TESIS:

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS EN EL MARCO REGULATORIO DE ZONAS MONUMENTALES DEL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO

ÁREA DE INTERVENCIÓN:

AE-1 Centro Histórico Del Cusco

LOCALIZACIÓN:

DEPARTAMENTO: CUSCO
 PROVINCIA: CUSCO
 DISTRITO: CUSCO

RESPONSABLE:

ABRAHAM CHIOQUE ARAMBURU

REVISADO POR:

MSC. JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA



PLANO 0105:

PLANO DE CANALIZACIONES Y CÁMARAS PARA EL DESPLIEGUE DE RED ÓPTICA SUBTERRÁNEA

ESCALA: 1:100 FECHA: AGOSTO DEL 2024

LÁMINA:

RD-02



Anexo N

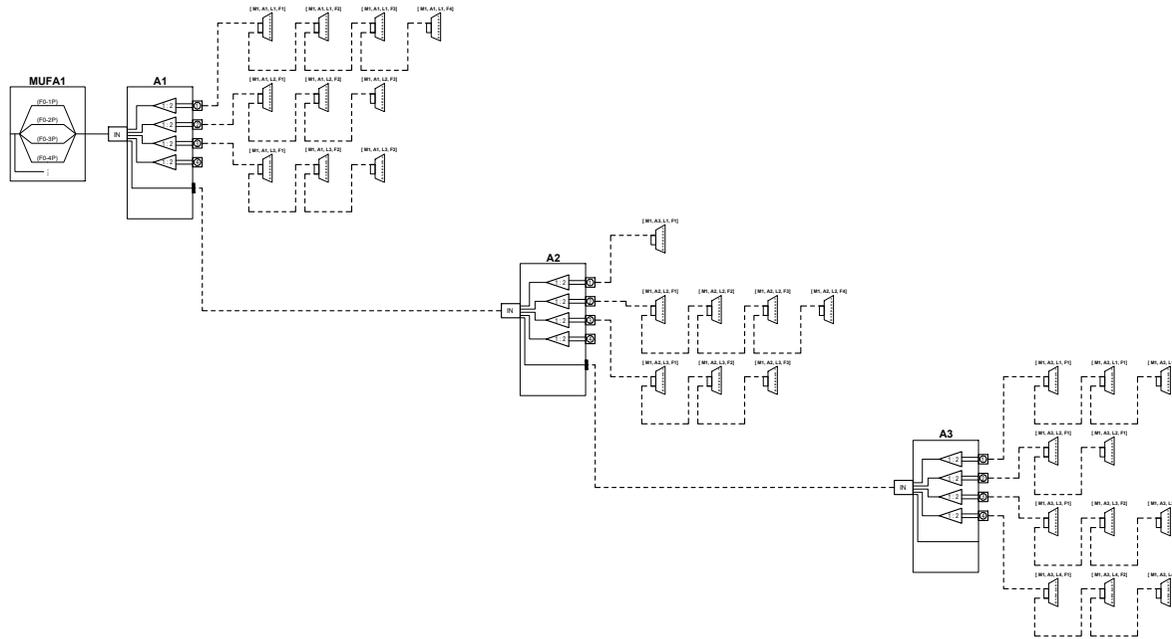


Diagrama Unifilar Sub Red M1
ESC: 1/2500

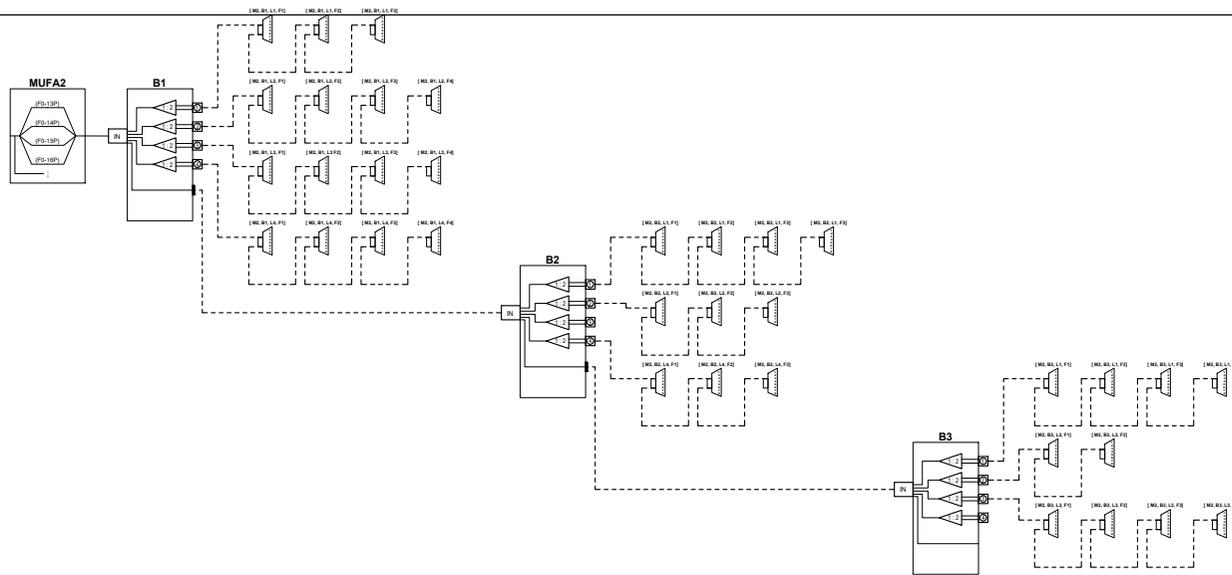
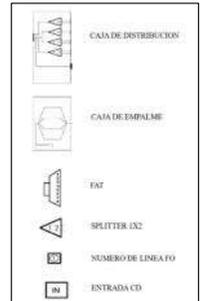


Diagrama Unifilar Sub Red M2
ESC: 1/2500



SIMBOLOGÍA:



TEMA:

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL
DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS
EN EL MARCO REGULATORIO DE
ZONAS MONUMENTALES DEL
CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO**

ÁREA DE INTERVENCIÓN:

AE-1 Centro Histórico Del Cusco

LOCALIZACIÓN:

DEPARTAMENTO: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
DISTRITO: CUSCO

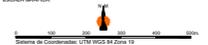
RESPONSABLE:

ABRAHAM CHOCQUE ARAMBURU

REVISADO POR:

MSC. JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA

ESCALA GRÁFICA:



PLANO (DISEÑO):

DIAGRAMA UNIFILAR SUB RED DE DISTRIBUCIÓN

ESCALA:

1:100

FECHA:

AGOSTO DEL 2024

LÁMINA:

RD-03



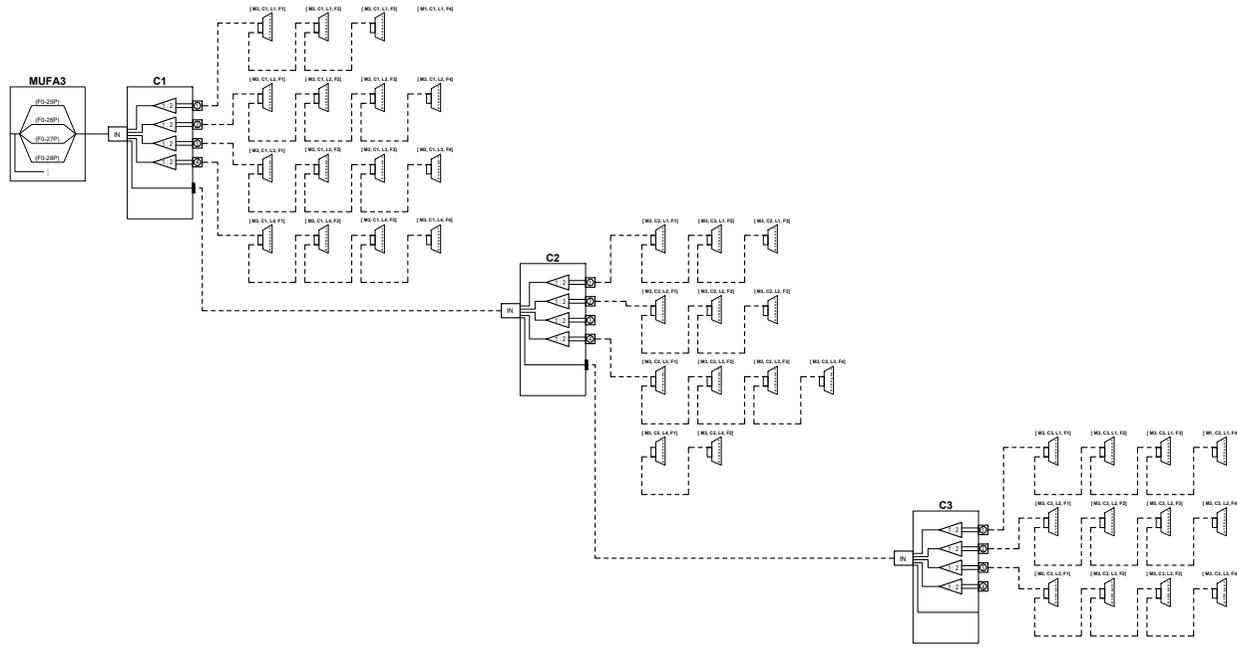


Diagrama Unifilar Sub Red M3
ESC: 1/2500

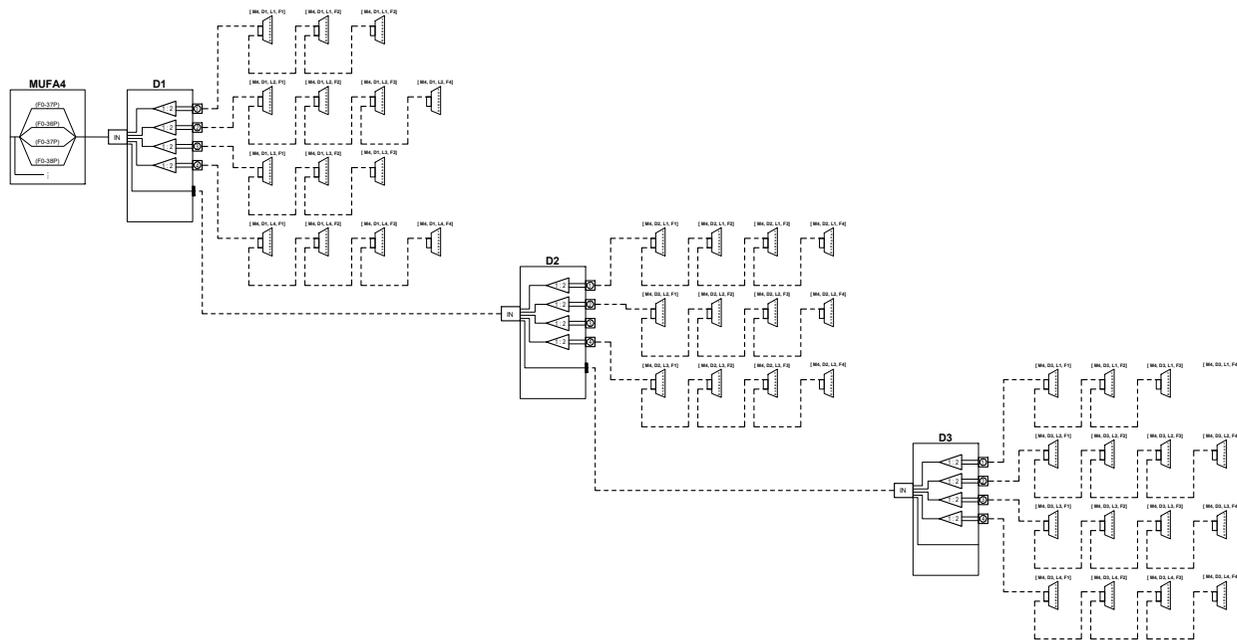
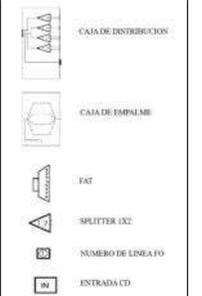


Diagrama Unifilar Sub Red M4
ESC: 1/2500

SEMBOLOGÍA:



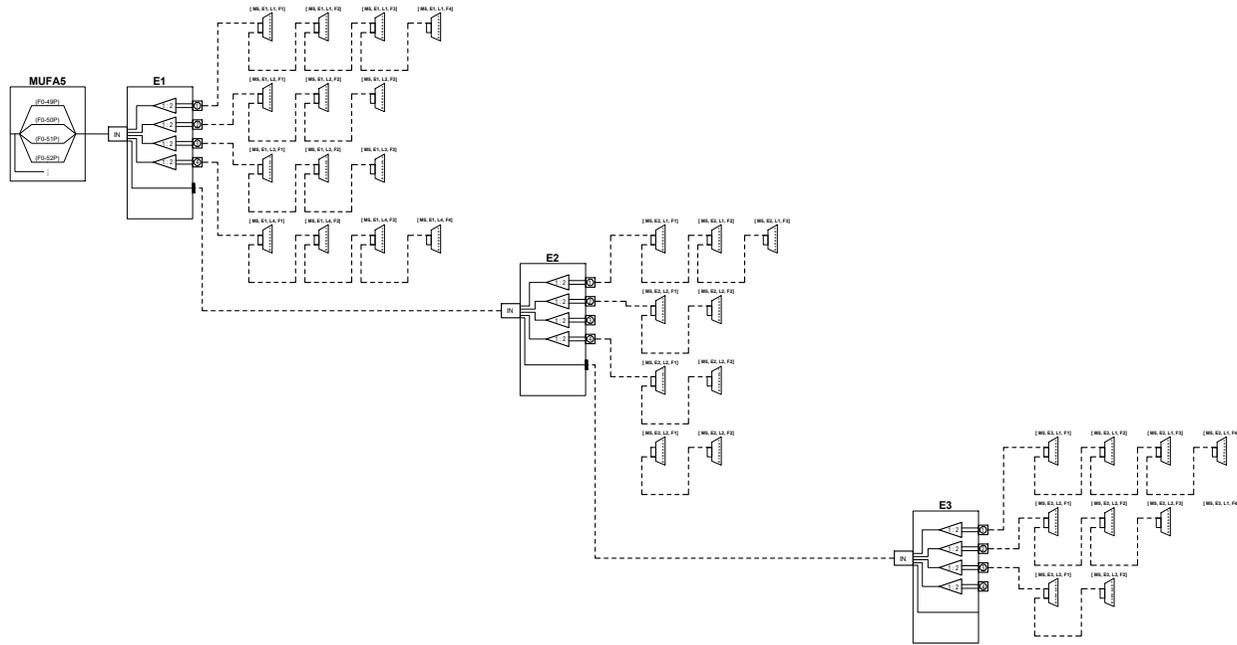



Diagrama Unifilar Sub Red M5

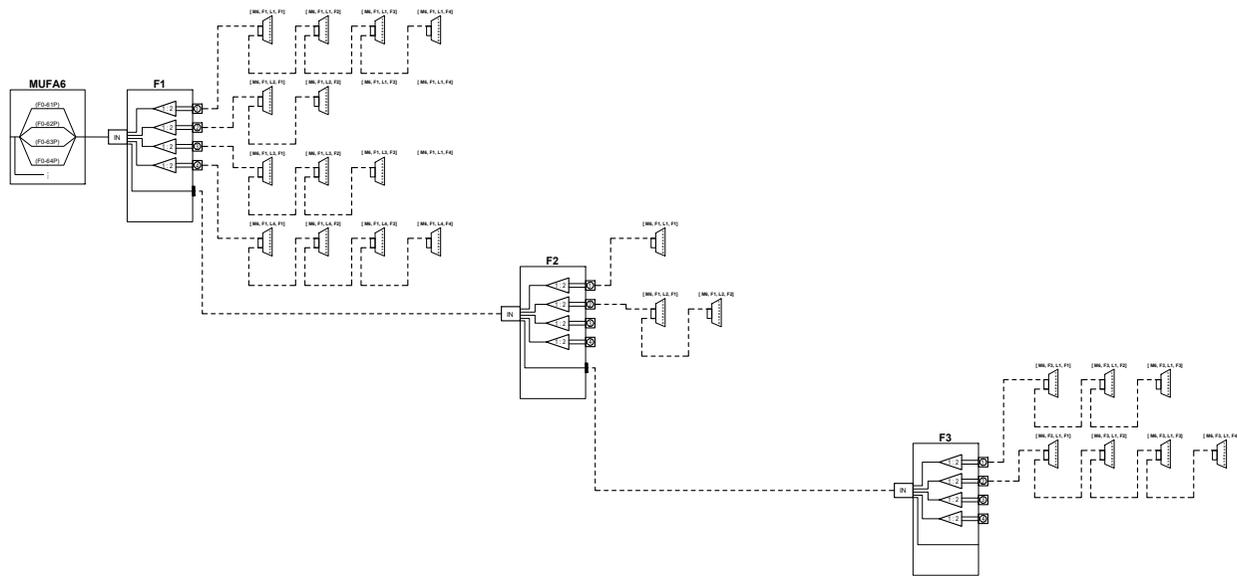


Diagrama Unifilar Sub Red M6



SEMBOLOGÍA:



TESIS:

PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS EN EL MARCO REGULATORIO DE ZONAS MONUMENTALES DEL CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO

ÁREA DE INTERVENCIÓN:

AE-1 Centro Histórico Del Cusco

LOCALIZACIÓN:
DEPARTAMENTO: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
DISTRITO: CUSCO

RESPONSABLE:

ABRAHAM CHOQUE ARAMBURU

REVISADO POR:

MSC. JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA

ESCALA GRÁFICA:



PLANO DISEÑO:

DIAGRAMA UNIFILAR SUB RED DE DISTRIBUCIÓN

ESCALA:

1:100

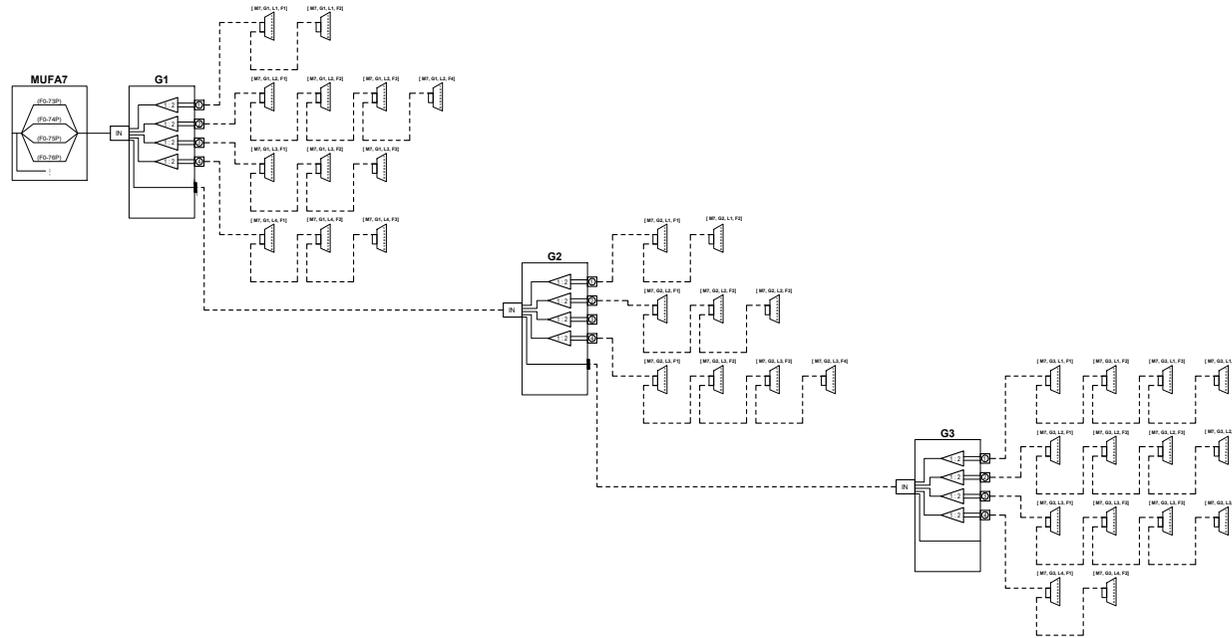
FECHA:

AGOSTO DEL 2024

LÁMINA:

RD-05

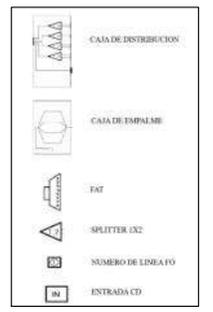




○ Diagrama Unifilar Sub Red M7



SÍMBOLOGÍA:



TEMA:

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL
DESPLIEGUE DE REDES ÓPTICAS
EN EL MARCO REGULATIVO DE
ZONAS MONUMENTALES DEL
CENTRO HISTÓRICO DEL CUSCO**

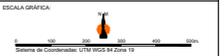
ÁREA DE INTERVENCIÓN:

AE-1 Centro Histórico Del Cusco

LOCALIZACIÓN:
DEPARTAMENTO: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
DISTRITO: CUSCO

RESPONSABLE:
ABRAHAM CHOCQUE ARAMBURU

REVISADO POR:
MSC. JORGE LUIS ARIZACA CUSICUNA



PLANO 0110:
DIAGRAMA UNIFILAR SUB RED DE DISTRIBUCIÓN

ESCALA: 1:100 FECHA: AGOSTO DEL 2024

LÁMINA:

RD-06

