



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE RED PASIVA DE FIBRA OPTICA PARA SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES Y SU MODELO DE GOBIERNO PARA UN EDIFICIO DE
COMERCIOS Y OFICINAS**

José Fernando Valle Castillo

Asesorado por la Inga. Ingrid Salome Rodríguez

Guatemala, enero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE RED PASIVA DE FIBRA OPTICA PARA SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES Y SU MODELO DE GOBIERNO PARA UN EDIFICIO DE
COMERCIOS Y OFICINAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ FERNANDO VALLE CASTILLO

ASESORADO POR EL INGA. INGRID SALOME RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino Gonzalez.
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Peñate
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salome Rodríguez de Loukota
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Veliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE RED PASIVA DE FIBRA OPTICA PARA SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES Y SU MODELO DE GOBIERNO PARA UN EDIFICIO DE
COMERCIOS Y OFICINAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 15 de mayo 2019.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the name of the author.

José Fernando Valle Castillo

Guatemala 24 de febrero de 2020

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

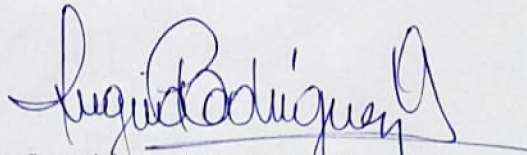
Apreciable Ingeniero Solares,

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado "**Diseño de red pasiva de fibra óptica para servicios de telecomunicaciones y su modelo de gobierno para un edificio de comercios y oficinas**", del señor **José Fernando Valle Castillo**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 11 de marzo de 2020

Señor Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

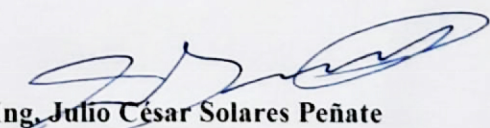
Estimado Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE RED PASIVA DE FIBRA ÓPTICA PARA SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y SU MODELO DE GOBIERNO PARA UN EDIFICIO DE COMERCIOS Y OFICINAS**, desarrollado por el estudiante **José Fernando Valle Castillo**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,


ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

REF. EIME 250.2020.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área , al trabajo de Graduación del estudiante José Fernando Valle Castillo titulado: **DISEÑO DE RED PASIVA DE FIBRA ÓPTICA PARA SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y SU MODELO DE GOBIERNO PARA UN EDIFICIO DE COMERCIOS Y OFICINAS**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo


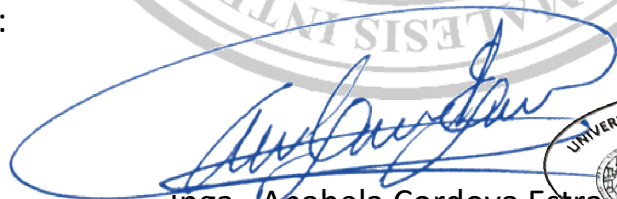


Guatemala, 20 de agosto de 2020.

DTG. 021.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE RED PASIVA DE FIBRA OPTICA PARA SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y SU MODELO DE GOBIERNO PARA UN EDIFICIO DE COMERCIOS Y OFICINAS**, presentado por el estudiante universitario: **José Fernando Valle Castillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, enero 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida y la oportunidad de cumplir todas las metas que me ha propuesto.
- Mis padres** Fernando Valle y Virginia Castillo, por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este punto con todos sus esfuerzos y deseos de superación.
- Mi familia** Por apoyarme y animarme a lograr esta meta profesional.
- Mis compañeros** Quienes me apoyaron a lo largo de estos años y se han convertido en amigos irremplazables.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser más que una casa de estudios, una escuela de vida.
Docentes de la Facultad de Ingeniería	Quienes con su dedicación para impartir una enseñanza de calidad me han dado los conocimientos para el desarrollo profesional.
Mis amigos	Quienes a pesar del tiempo siempre me animaron a concluir esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SIMBOLOS	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y SUS TECNOLOGÍAS	1
1.1. Servicios de telecomunicaciones utilizados por las empresas	1
1.1.1. Características de los tipos de servicios de telecomunicaciones	2
1.2. Operadores de servicios de telecomunicaciones en Guatemala.....	3
1.3. Tecnologías para servicios de telecomunicaciones.....	3
1.3.1. Servicios de voz.....	4
1.3.2. Servicios de datos.	5
1.3.3. Servicios de cable televisión.....	6
1.4. Medios de acceso.....	7
1.4.1. Pares de cobre trenzado	9
1.4.2. Cable coaxial	11
1.4.3. Fibra óptica.....	12
1.5. Tendencias actuales y futuras	13
1.6. Problemática de instalación en edificios.....	14

2.	LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN	17
2.1.	Principios de fibra óptica y su construcción.....	17
2.1.1.	Índice de refracción y reflexión interna total	18
2.1.2.	Partes de la fibra óptica.....	20
2.1.2.1.	Núcleo.....	20
2.1.2.2.	Revestimiento.....	21
2.1.2.3.	Recubrimiento.	21
2.1.2.4.	Chaqueta o forro	22
2.2.	Ventajas y desventajas de la fibra óptica	23
2.3.	Clasificación de la fibra óptica.....	25
2.3.1.	Fibra óptica multimodo	25
2.3.2.	Fibra óptica monomodo.....	29
2.3.3.	Tipos de conectores y pulidos de fibra óptica.....	32
2.3.3.1.	Conectores.....	32
2.3.3.2.	Tipos de pulidos	34
2.4.	Accesorios necesarios para la conexión de fibra óptica.....	35
2.4.1.	Cables troncales y de abonados	35
2.4.2.	Cajas de empalmes o fusiones	37
2.4.3.	Cajas terminales pigtails y patchcords	40
2.4.4.	ODF.....	42
3.	NORMATIVAS PARA CABLEADOS DE TELECOMUNICACIONES DENTRO DE EDIFICIOS	45
3.1.	Normativas de cableado utilizadas en Guatemala	46
3.1.1.	Normativas de referencia para instalaciones de telecomunicaciones.....	46
3.2.	ANSI/TIA-568	47
3.2.1.	ANSI/TIA-568.1-D	49
3.2.1.1.	Cuarto de equipos	51

3.2.1.2.	Cuarto de telecomunicaciones y gabinetes de telecomunicaciones.....	51
3.2.1.3.	Cableado troncal.....	54
3.2.1.4.	Cableado horizontal.....	55
3.2.2.	ANSI/TIA-568.3-D.....	56
3.2.2.1.	Cable de fibra óptica.....	56
3.2.2.2.	Soporte físico para conexión	58
3.2.2.3.	Cajas para terminación de cableados.....	60
3.2.2.4.	Patchcords.....	60
3.2.3.	ANSI/TIA 569-E.....	62
3.2.3.2.	Espacios dentro de los edificios.....	64
3.2.3.2.1.	Requisitos Generales ...	64
3.2.3.2.2.	Cuartos de distribución	66
3.2.3.2.3.	Espacios o cuartos de acometida.....	67
3.2.3.3.	Espacios para proveedores de servicios.....	68
3.2.3.4.	Espacios para edificios de múltiples inquilinos.....	70
3.2.3.5.	Vías de cableado en el edificio	72
3.2.3.6.	Separación de fuentes de inducción electromagnética	72
3.2.3.7.	Canaletas como vías de cableado....	73
3.2.3.8.	Uso de tubería Conduit.....	74
3.2.3.9.	Vías de cableado verticales	75
3.2.4.	ANSI/TIA 598-D.....	76

3.2.4.1.	Fibras individuales y unidades de fibras.....	76
3.2.4.2.	Código de colores para cables de fibra óptica de interiores	78
3.2.5.	ANSI/TIA 568.0-D.....	79
3.2.5.1.	Generalidades para la medición.....	79
3.2.5.2.	Medición con OTDR.....	80
3.3.	NFPA 70.....	83
3.3.1.	Artículo 770 NFPA.....	84
3.3.1.1.	Ingreso de cables en edificios	84
3.3.1.2.	Instalación dentro de edificios	85
3.3.1.2.1.	Recorridos Plenum y Riser.....	86
3.3.1.2.2.	Requerimientos de los cables listados.....	87
4.	CONSIDERACIONES PARA DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INTERNA DE UN EDIFICIO	89
4.1.	Estructura general de la red y los espacios por utilizar	90
4.1.1.	Cuarto de equipos de telecomunicaciones.....	90
4.1.2.	Cuartos de distribución de telecomunicaciones	91
4.1.3.	Vías de cableado o canalizaciones	92
4.1.4.	Componentes de la red de fibra óptica por utilizar.....	93
4.1.4.1.	Tomas de telecomunicaciones y cableado horizontal	94
4.1.4.2.	Componentes en cuarto de distribución.....	94

4.1.4.3.	Cuarto de equipos y cableado troncal.....	96
4.2.	Dimensionamiento para construcción de la red.....	98
4.2.1.	Dimensionamiento de cuartos de distribución de telecomunicaciones	100
4.2.2.	Dimensionamiento de red troncal	104
4.2.3.	Dimensionamiento de cuarto de equipos.....	106
4.2.3.1.	Espacios físicos	106
4.2.3.2.	Alimentación eléctrica	108
4.2.3.3.	Acometida de red externa.....	108
4.3.	Consideraciones de canalización	111
4.4.	Documentación de entrega para operación y mantenimiento.....	117
4.4.1.	Certificación de hilos.....	117
4.4.2.	Planos y diagramas de la construcción	118
4.4.3.	Base de datos de hilos de fibra óptica	122
5.	MODELO DE GOBIERNO Y ADMINISTRACIÓN DE LA RED	123
5.1.	Mantenimiento de base de datos de instalaciones	123
5.2.	Procedimiento para instalación de servicios.....	124
5.3.	Procedimiento para bajas de servicios	125
5.4.	Procedimiento para cambios en la red	126
5.4.1.	Cambios por crecimiento de oficinas	126
5.4.2.	Cambios por fallas	127
5.5.	Procedimientos para atención de fallas	128
	CONCLUSIONES.....	131
	RECOMENDACIONES	133
	BIBLIOGRAFIA.....	135

APÉNDICES..... 137

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama esquemático de red de un operador de servicios de telecomunicaciones.....	8
2.	Cables de cobre en par trenzado y en construcción coaxial	11
3.	Construcción interna de cable de fibra óptica	12
4.	Instalaciones sin planificación en centros comerciales	15
5.	Refracción de la luz en dos medios distintos según la ley de Snell	19
6.	Haces de luz viajando dentro de la fibra óptica y el cono de aceptación.....	20
7.	Cable de varias fibras ópticas diseñado para exterior.....	23
8.	Trayectorias de luz en la fibra óptica multimodo de índice escalonado e índice gradual	26
9.	Trayectoria de la luz en la fibra óptica monomodo.....	29
10.	Diferencias de construcción de cables de fibra óptica Tight Buffer y Loose Tube	30
11.	Tipos de Conectores para Fibra Óptica SC, LC, ST y MPO.....	33
12.	Tipos de pulidos para conectores de fibra óptica	34
13.	Cable troncal para exterior con armadura y refuerzo de autosoporte	36
14.	Tipos de cables de abonado o drop	37
15.	Bandeja de fusiones de fibras ópticas.....	38
16.	Caja de empalmes para montaje en rack.....	39
17.	Caja de empalmes tipo cierre para exterior.....	40
18.	Pigtails de fibra monomodo con conectores SC/APC y LC/UPC	41
19.	Caja terminal con un pigtail SC/UPC fusionado y conectado.....	41

20.	Patchcord monomodo con conector SC/APC en un extremo y LC/UPC en el otro extremo.....	42
21.	ODF de una unidad de rack con módulos de conexión SC/UPC.....	43
22.	Relaciones de estándares ANSI/TIA para cableados de telecomunicaciones	48
23.	Topologías genéricas jerárquicas en estrella para sistemas de cableado de un edificio comercial.....	50
24.	Topología para cableado de fibra óptica centralizado.....	53
25.	Configuración de posiciones A y B en un conector duplex	59
26.	Patchcords duplex en configuraciones A-A y A-B.....	61
27.	Sistema de vías de cableado y espacios de telecomunicaciones en un edificio con múltiples inquilinos.....	63
28.	Cuarto de distribución superficial.....	67
29.	Ejemplo de espacio para designado para proveedor de servicio.....	69
30.	Ejemplo de vías de cableado y espacios de telecomunicaciones para un edificio de múltiples inquilinos.....	71
31.	Canaleta con cableado calculado al 50 % de su capacidad	73
32.	Diseño típico de mangas y perforaciones en losas para vías de cableado verticales entre niveles.....	75
33.	Escenario de medición de fibra óptica con OTDR	80
34.	Grafica de OTDR para cálculo de atenuación por distancia	82
35.	Grafica de OTDR para cálculo de pérdida de inserción.....	83
36.	Componentes de red de fibra óptica	93
37.	Distribución de áreas dentro de cuarto de equipos.....	107
38.	Cables de fibra óptica en plata externa.....	109
39.	Instalaciones de datos con bandeja tipo malla	112
40.	Copla de bandeja de malla a Conduit.....	115
41.	Caja de registro para terminación de conexión de telecomunicaciones dentro del local u oficina.....	116

42.	Plano de planta de cuarto de equipos.....	119
43.	Diagramas esquemáticos de construcción de red.....	121
44.	Lampara de pruebas para fibra óptica	129

TABLAS

I.	Máximas distancias soportadas y atenuaciones de canal para aplicaciones de fibra óptica multimodo.....	28
II.	Máxima atenuación de canal y atenuaciones permitidas para canales de fibra monomodo según su aplicación	31
III.	Parámetros de desempeño de transmisión de fibras ópticas.....	57
IV.	Requisitos de humedad y temperatura para espacios de telecomunicaciones.....	66
V.	Código de colores para fibras individuales y unidades de fibras.....	77
VI.	Código de colores para chaquetas de cables de interiores.....	78
VII.	Tipos de cables de fibra óptica listados y sus aplicaciones.....	88
VIII.	Identificación de puertos, cables e hilos por medio de código de colores.....	97
IX.	Oficinas y locales en el edificio	99
X.	Oficinas y locales con necesidad de acometidas adicionales	101
XI.	Agrupación propuesta para cuartos de distribución de telecomunicaciones.....	103
XII.	Cuartos de distribución de telecomunicaciones y dimensionamiento de sus capacidades	104

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
dB	decibel
m	Metro
m²	Metros cuadrados
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
N	Newton
ft	Pie
in	Pulgada
V	Voltio

GLOSARIO

Ancho de banda	Medida de la capacidad de un canal de transmitir datos.
Acometida	En telecomunicaciones es el ingreso de la red de planta externa de un operador hacia un edificio, típicamente vía aérea o subterránea.
Atenuación	Disminución de la intensidad o potencia de la señal.
AWG	<i>American Wire Gauge</i> , medida del calibre un cable conductor eléctrico basado en su área transversal.
Bit	Unidad base de información en sistema binario, utilizado para medir información digital.
Canalización	Ruta deseada de tubería o canaletas para la conducción de fluidos o cableados dentro de una edificación.
Condensación	Cambio de estado de la materia que pasa de estado gaseoso a estado líquido.
Conduit	Tubo construido de ciertos materiales utilizado para la protección y transporte de fluidos o cables.

Convergencia	Capacidad de utilizar una misma red para la transmisión de señales de diferentes sistemas.
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i> , equipo terminal de un servicio de telecomunicaciones provisto por un operador dentro de las instalaciones del cliente.
Cros conexión	Conexión que une dos redes administradas por diferentes entes.
Decibel	Unidad de medida utilizada para expresar la relación entre dos valores de potencia.
Estándar	Conjunto de reglas utilizadas en actividades científicas con el fin de mantener una operación normal entre varios productos y fabricantes.
Fusión	La fusión por calor es el proceso de unir dos piezas de material por medio de calentamiento, a fin transformarse en una sola pieza.
Inalámbrico	En telecomunicaciones una forma de comunicación que no requiere cables típicamente realizada por ondas radio eléctricas.
IP	<i>Internet Protocol</i> , protocolo de comunicación basado en paquetes.

ISP	<i>Internet Service Provider</i> , nombre típicamente utilizado para un operador de servicios de telecomunicaciones.
Laser	Haz de luz coherente de espacio y tiempo, con capacidad de viajar grandes distancias en un espectro limitado.
LED	<i>Light Emitting Diode</i> , Fuente de luz producida por semiconductores al ser excitados por una corriente eléctrica.
Longitud de onda	Distancia entre los dos puntos máximos de una onda periódica. En las ondas electromagnéticas la longitud de onda determina el tipo de radiación de dicha onda.
Red	Infraestructura de comunicación a través de la cual se transporta información entre diferentes orígenes y destinos.
Reflexión	Cambio de dirección de una onda, que, al entrar en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes, regresa al medio donde se originó.
Refracción	Cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo.

RU	<i>Rack Unit</i> , unidad de media para equipos de telecomunicaciones para un bastidor estándar, esta es de 19 por 1,75 pulgadas.
Tierra	Sistema de conexión común para protección eléctrica de los equipos de telecomunicaciones.
Topología	Describe la forma en que se conecta una red, puede ser de manera física o lógica.
Troncal	Ruta principal de gran capacidad de la cual se desprenden ramificaciones de menor capacidad.

RESUMEN

En este trabajo se plantea la importancia de los servicios de telecomunicaciones para las empresas hasta constituirse en servicios críticos para su operación. El crecimiento de la demanda de los servicios de telecomunicaciones exige que se cuente con medios de transmisión más robustos para que brinden anchos de banda grandes con baja probabilidad de fallas o degradaciones de acuerdo con el ambiente que los rodea.

En el primer capítulo, se plantea lo referido y se desarrolla la importancia de la fibra óptica, como el medio de transmisión ideal para cumplir con las características descritas, ya que fibra óptica es el medio de transmisión principal utilizado por los operadores de telecomunicaciones en Guatemala, para los servicios de tipo empresarial.

El segundo capítulo describe las características y ventajas de la fibra óptica como medio de transmisión para servicios de telecomunicaciones, incluyendo los accesorios típicamente utilizados para la construcción de una red de este tipo dentro de un edificio comercial.

El tercer capítulo comprende las normas y estándares necesarios para la instalación de una red de fibra óptica dentro de un edificio comercial para garantizar su desempeño correcto, flexibilidad para cambios y resolución de fallas y finalmente la seguridad de los ocupantes del edificio al momento de ocurrir un siniestro.

El cuarto capítulo propone un ejemplo de diseño y dimensionamiento de acuerdo con las características que típicamente tiene un edificio comercial y el seguimiento de las normativas descritas en el capítulo 3. Adicionalmente, se propone cómo se realiza la documentación necesaria, para la entrega final de la red garantizando su correcto desempeño y orden.

El quinto capítulo propone un modelo de operación que mantenga la red en un estado óptimo para prestación de servicios y cambios con una necesidad mínima de manipulación, basándose en la correcta instalación y documentación obtenida al momento de la entrega de la red.

OBJETIVOS

General

Plantear una solución a la problemática de la correcta instalación y administración de una red de telecomunicaciones dentro de un edificio, para prestar diversos servicios a los ocupantes de este, tomando como base, normativas y estándares internacionales, que garantizaran un correcto desempeño a largo plazo. Adicionalmente tomando en cuenta el mercado de operadores de telecomunicaciones y los servicios que ofrecen en Guatemala.

Específicos

1. Describir el mercado de las telecomunicaciones en Guatemala, para tomar en cuenta los servicios actuales y tendencias futuras.
2. Describir la fibra óptica como el medio de transmisión más importante en la actualidad para los servicios de telecomunicaciones y desarrollar todas sus características.
3. Desarrollar las normativas internacionales utilizadas para las instalaciones de telecomunicaciones dentro de edificios comerciales, para la utilización para el diseño de una red de este tipo.
4. Proponer un procedimiento para diseñar y dimensionar una red de fibra óptica para un edificio de acuerdo con las normativas descritas

anteriormente, además de garantizar la correcto funcionamiento y documentación necesaria para el mantenimiento.

5. Proponer un modelo de gobierno con el cual se puede administrar la red y se pueden obtener todas las ventajas tales como: rapidez de instalación y cambios, bajas probabilidades de fallas internas y facilidad de resolución de estas.

INTRODUCCIÓN

Los servicios de telecomunicaciones han evolucionado de forma que se han convertido en una herramienta de apoyo para cualquier tipo de empresa y en algunos casos parte vital de su operación.

Se espera que en un edificio que aloja empresas comerciales y oficinas, al menos se tenga una instalación de servicios de telecomunicaciones, la cual típicamente hace un operador de servicios desde su red externa. Tomando en cuenta la cantidad de servicios y el dinamismo y rotación de ocupantes del edificio, es posible que se presente saturación si no se planifican correctamente las capacidades de ductos para los servicios de telecomunicaciones que ingresan y viajan dentro del edificios.

En el presente trabajo se analiza y desarrollan los servicios ofrecidos en el mercado de las telecomunicaciones en Guatemala y la importancia de la fibra óptica como medio de comunicación utilizado en la actualidad, para servicios prestados a clientes de tipo comercial.

Basado en el análisis de servicios y tecnologías de telecomunicaciones, se propone diseñar y construir una red pasiva de fibra óptica para servicios de telecomunicaciones hacia los locales y oficinas dentro del edificio tomando en cuenta normativas internacionales para garantizar la correcta operación y escalabilidad y seguridad de la red. Finalmente, se propone el modelo de gobierno de utilización de esta red, para mantener el control de instalaciones, ocupación, previsión de crecimiento y mantenimiento.

1. LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y SUS TECNOLOGÍAS

Los operadores de telecomunicaciones de Guatemala ofrecen diversos tipos de servicios de voz, datos y televisión por cable, para cubrir las necesidades de los usuarios individuales, residenciales y corporativos. Para ello, utilizan tecnologías que se valen de tres medios de transmisión física de las señales: fibra óptica, cobre y ondas radio eléctricas. El operador de servicios de telecomunicaciones, dentro de un edificio de oficinas o complejo comercial, necesita instalar un cable que lleve la comunicación hacia los equipos que transforman esas señales eléctricas, radioeléctricas u ópticas en información útil para cada local. Por eso, el edificio debe contar con ductos para, al menos, un cable por local. Los operadores de telecomunicaciones instalan este cableado, como parte del servicio que prestan.

Los servicios de telecomunicaciones son esenciales para el funcionamiento de cualquier negocio en la actualidad. Cualquier edificio comercial debe considerar que los locales comerciales u oficinas que se encuentren ahí utilizarán al menos un servicio de un operador de telecomunicaciones; en el caso de las grandes empresas pueden tenerse diversos servicios de diversos operadores.

1.1. Servicios de telecomunicaciones utilizados por las empresas

Las empresas en Guatemala y el mundo, actualmente, requieren servicios de telecomunicaciones como parte esencial de su operación. Estos servicios

varían de acuerdo con el tipo de operación, tamaño de la empresa y de acuerdo con las aplicaciones que se deban soportar.

Se tienen tres principales ramas de servicios de telecomunicaciones utilizados por las empresas:

- Servicios de voz
- Servicios de datos
- Servicios de cable televisión

A continuación, se presenta una descripción de los tipos de servicios descritos anteriormente.

1.1.1. Características de los tipos de servicios de telecomunicaciones

Los servicios de voz se conocen como líneas telefónicas. Según la tecnología se tienen líneas individuales o líneas agrupadas que soportan múltiples llamadas simultáneamente sobre un mismo canal digital. Las tecnologías de acceso incluyen líneas terrestres que utilizan algún cable terrestre y las líneas móviles que utilizan ondas radioeléctricas.

Los servicios de datos son altamente utilizados en la actualidad ya que pueden transportar cualquier tipo de información a través de redes interconectadas de forma local o extendidas por áreas geográficas dispersas. Internet que es la conexión de diversas redes en el contexto mundo, es el mejor ejemplo de redes de datos. Las redes de datos también se utilizan para conexiones privadas entre diversos sitios de las empresas. Existen múltiples tecnologías para establecer conexiones de datos, que pueden ofrecer accesos

a sitios de forma directamente conectada por un cable o de forma inalámbrica. En cualquier caso, el medio de acceso debe ser transparente para los datos que se requieren transmitir.

La finalidad de los servicios de cable televisión (CATV) es el entretenimiento, aunque ha evolucionado de televisión analógica a digital y recientemente la convergencia de televisión por redes IP. Se caracterizan por ser comunicación en una sola vía, donde se recibe la información y se proyecta en una televisión.

1.2. Operadores de servicios de telecomunicaciones en Guatemala

En el país, existen diversos operadores de servicios de telecomunicaciones que han evolucionado aprovechando la convergencia de tecnologías para ofrecer múltiples servicios de acuerdo con su mercado objetivo. Los operadores que se enfocan en el mercado masivo o usuarios residenciales ofrecen; voz, acceso a internet y CATV. Existe otro grupo de mercado de despliegue masivo que es aprovechado por usuarios individuales y corporativos que son los servicios de telefonía móvil o celular.

En este trabajo se enfatiza en los operadores de servicios corporativos, dada su importancia para el tipo de clientes dentro del edificio.

1.3. Tecnologías para servicios de telecomunicaciones

Los operadores de telecomunicaciones de Guatemala tienen diversos tipos de tecnologías de acuerdo con el tipo de servicios que ofrecen, esto se debe a la antigüedad de las redes desplegadas y las preferencias de acuerdo

con los objetivos de crecimiento de cada operador. En esta sección se describen las principales tecnologías actuales para servicios de voz y datos.

1.3.1. Servicios de voz

En los servicios de voz, aún prevalecen las líneas telefónicas individuales tradicionales, comúnmente conocidas como POTS. Se usan en residencias y pequeñas empresas que no requieren un gran volumen de llamadas. Este tipo de líneas telefónicas utilizan exclusivamente pares de cobre para su funcionamiento.

Existe como opción para el ámbito empresarial las líneas multiplexadas de forma digital las cuales permiten tener 30 canales de voz funcionando de forma simultánea sobre un solo medio de acceso. Este tipo de servicio es sobre tecnología TDM y es conocido como E1 y dependiendo de la red de cada operador puede utilizar pares de cobre o fibra óptica como medio de acceso.

Actualmente, se está presentando la opción de troncales de múltiples líneas sobre redes de datos IP. En este caso no se tienen limitantes establecidas para la cantidad de llamadas simultaneas, puede ir desde unas pocas unidades hasta miles, dependiendo de la capacidad de la planta. En Guatemala los operadores están utilizando el protocolo SIP para este tipo de servicios. Aunque para los casos donde se tienen pocas llamadas y relativamente poco ancho de banda, se puede utilizar un acceso por cobre; la tendencia de parte de los operadores es utilizar fibra óptica como medio de acceso.

Como opción móvil para servicios de voz los tres grandes operadores de Guatemala ofrecen servicios sobre red celular los cuales son únicamente se

mencionan, con fines de documentación, pero están fuera de los alcances de este trabajo.

1.3.2. Servicios de datos

Tienen el mayor crecimiento en el mercado mundial de las telecomunicaciones, debido a que cualquier aplicación tecnológica depende de la conexión de redes e internet. Aunque el objetivo común de las tecnologías de red es el transporte de datos en alto nivel, existen diversas tecnologías que se han desarrollado para aprovechar redes desplegadas, para ampliar su capacidad de transporte de datos y la distancias en los cuales pueden llevarse.

El ejemplo más claro de una red de datos es internet, el cual utiliza diversos medios de acceso para conectar cualquier dispositivo que puede intercambiar información desde virtualmente cualquier parte del mundo; mostrando limitantes de ancho de banda o distancia de transmisión dependiendo de la tecnología que se utilice para la conexión.

Las redes de datos basan su funcionamiento en el protocolo de comunicación IP, el cual puede mover los datos de varias formas y a varios lugares. La ventaja que representa la tecnología IP es que puede utilizar redes ya desplegadas con ciertas limitantes, pero, aun así, funcionar de forma correcta e igualmente utilizar redes de última tecnología las cuales han sido desarrolladas para maximizar el ancho de banda, distancia de transmisión y seguridad; adicionalmente la transición en este tipo de redes es prácticamente transparente y sin necesidad de hacer ajustes complicados entre estas.

Las redes de datos tienen en la actualidad una gran importancia dentro de las empresas, ya que estas son utilizadas para comunicar las aplicaciones

utilizadas para la correcta operación de dichas empresas. Las redes empresariales comúnmente son de tipo privado o punto a punto, esto quiere decir, que la información o datos puede viajar únicamente entre los puntos destinados y nadie fuera de esta red tiene acceso a esta información.

Debido a su gran versatilidad y desarrollo las redes de datos están siendo tomadas como base para cualquier tipo de comunicación, por ejemplo, voz, que, aunque para el usuario final la experiencia de hablar sea la misma, el transporte de esta sea utilizando protocolos como SIP, para transportar la voz sobre una red de datos.

1.3.3. Servicios de cable televisión

La televisión tiene como fin principal la entretención o recreación, a través de la programación emitida en los distintos canales. La televisión por cable nace de la necesidad de ampliar la capacidad de canales y la diversidad del contenido de estos, sin necesidad de transmitirlos por el espectro radio eléctrico en el cual únicamente se transmiten canales de televisión abierta.

Los canales de cable se concentran en una central de transmisión la cual los ordena y transmite en forma de *broadcast* hacia todos los receptores conectados, a diferencia de las redes de voz y datos, en las redes de televisión se transmite la información en una sola vía. Normalmente, la central de televisión puede recibir canales de distintas partes del mundo de forma satelital y utiliza equipos para transformarlos y organizarlos a su conveniencia.

Las dos tecnologías principales para la transmisión de servicios de televisión por cable son redes de cable coaxial y transmisión satelital. En el caso de televisión satelital se requiere equipos más complejos para garantizar

la recepción de las señales de forma correcta y entregarla al receptor de forma que sea bien interpretada.

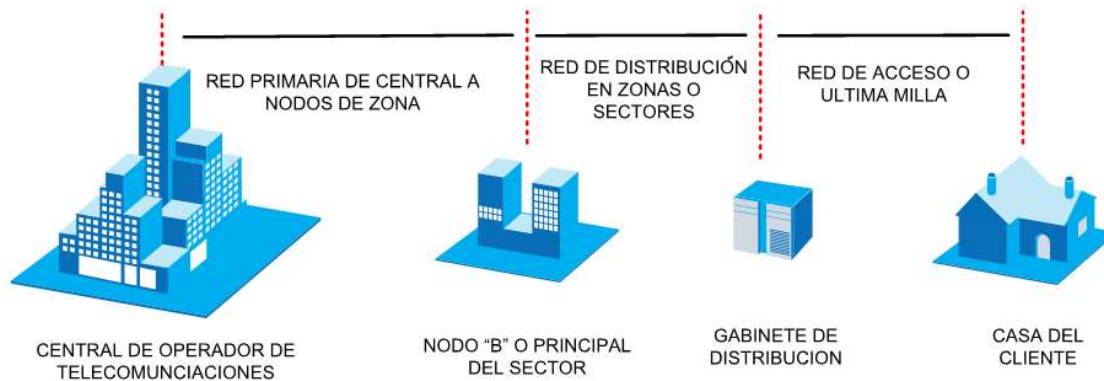
En la actualidad, el aparato receptor de la señal de televisión puede comunicarse en dos vías, por lo cual se tiene acceso a programación digital y acceso a internet. Los operadores usan esta tecnología para entregar servicios de televisión e internet a usuarios residenciales.

La televisión también está en proceso de tratarse como una red de datos, de esta forma tener un contenido totalmente interactivo en ambas vías y depender del internet, aunque hay varios ejemplos de servicios de *streaming* sobre internet que se utilizan en la actualidad, el concepto de IPTV aún no está disponible para comercialización de Guatemala.

1.4. Medios de acceso

La estructura de una red de telecomunicaciones de un operador se despliega para poder dar una amplia cobertura y garantizar que los puntos críticos puedan tener continuidad de servicios, aun cuando algún componente falle. La jerarquía de esta estructura se diagrama en la figura 1, este diagrama ejemplifica de forma genérica la estructura de una red de operador de servicios de telecomunicaciones y puede usarse como guía, para servicios de voz, datos e incluso televisión.

Figura 1. **Diagrama esquemático de red de un operador de servicios de telecomunicaciones**



Fuente: elaboración propia.

La transmisión de datos se inicia desde la central, donde se concentran todas las señales provenientes del exterior y se distribuyen a la red para poder ofrecer servicios. La primera conexión a los Nodos “B” típicamente es de alta capacidad y con esquemas de redundancia en ubicaciones y rutas de comunicación.

La topología típica desde la central a la red principal es el anillo, el cual se involucran varios nodos, e incluso dos centrales. El fallo en un nodo o el corte de una ruta de transmisión afecta únicamente el nodo y no el resto de la red por lo cual se garantiza continuidad de operación en la mayoría de los servicios que dependen de esta red. Esta red principal puede contar con variantes de anillos de área metropolitanas o geográficamente dispersos para cubrir grandes regiones como un estado o un país.

La red de distribución en zonas o sectores es de mediana capacidad y acerca los servicios de la red principal hacia los usuarios finales. En esta parte de la red se puede tener la capacidad de conectar servicios masivos y concentrarlos para transmitir a hacia la red principal. Típicamente para abarcar más área y tener una mayor capilaridad para alcanzar clientes se colocan gabinetes de distribución en diferentes puntos, estos pueden tener componentes activos o pasivos que se encargan de ser el último punto de conexión de la red del operador hacia el cliente.

El tramo de conexión desde el último nodo o gabinete de distribución del operador hacia casa de cliente se conoce como última milla. El medio de transmisión utilizado en la última milla es también conocido como medio de acceso. Dejando fuera los medios radio eléctricos o inalámbricos se tienen tres principales medios de transmisión:

- Pares de cobre trenzado
- Cable coaxial
- Fibra óptica

La utilización o preferencia de uso de estos medios de transmisión depende en muchos casos de la tecnología disponible o la necesidad de distancia y ancho de banda necesarios para prestación de servicios.

1.4.1. Pares de cobre trenzado

El cobre es el primer método de transmisión utilizado para telecomunicaciones y sigue siendo utilizado hasta el día de hoy, debido a los desarrollos de tecnologías que permiten extender sus limitantes para poder

utilizar las redes desplegadas de parte de los operadores de telecomunicaciones.

Sobre los pares de cobre se envían señales eléctricas moduladas de diferentes formas, de acuerdo con la tecnología, esto puede ser analógico o digital. Dependiendo de la tecnología de modulación se pueden alcanzar anchos de banda de transmisión de hasta 52 Mbps de bajada y 16 Mbps de subida en VDSL. Entre las diversas ventajas que ofrece el cobre es su bajo costo de despliegue y mantenimiento, tanto referente a el medio de transmisión per se, como a los equipos de última milla que se utilizan para dar el servicio a los clientes o CPE.

Las desventajas que tiene el cobre es la atenuación inherente del medio, lo cual limita el ancho de banda y la distancia a la cual se puede ofrecer servicios. El cobre es susceptible por su naturaleza de ser conductor eléctrico, a las inducciones electromagnéticas las cuales pueden verse reflejadas como ruido, el cual afecta la calidad y distancia a la cual puede transmitirse exitosamente una señal. Los tendidos de cobre son afectados por los elementos de la naturaleza, especialmente, la humedad y las descargas electro atmosféricas, por lo que en despliegues de gran escala requieran una alta inversión en mantenimiento y reparaciones.

Los servicios que prestan los operadores de telecomunicaciones en redes de cobre son principalmente enfocados a mercados residenciales o masivos, pero también se dan algunos servicios empresariales, por ejemplo:

- Líneas de telefonía tradicional o POTS
- Acceso a internet asimétrico o ADSL
- Enlaces de datos punto a punto de baja capacidad

1.4.2. Cable coaxial

El cable coaxial tiene una conducción concéntrica con un conductor principal central y el segundo conductor es un forro separado por aislante. Esta construcción permite que el conducto interno sea utilizado como canal de transmisión y el conductor exterior como referencia o tierra, de la señal transportada. Este diseño permite una mejor protección contra el ruido por lo tanto permite transmisión de mayor ancho de banda.

El cable coaxial se utiliza en varios ámbitos de telecomunicaciones, pero es principalmente conocido en el uso de señales de televisión. Dependiendo de la aplicación puede utilizarse conductores de cobre, acero o aluminio para su construcción. Al igual que los pares de cobre por su naturaleza de conductor eléctrico puede sufrir interferencia por inducciones eléctricas o de otras fuentes de energía como descargas electro atmosféricas. Al igual que los cables de cobre, sufre atenuación de transmisión por la distancia, lo cual limita la distancia de los puntos de comunicación y el ancho de banda que puede transmitirse a través de esta distancia.

Figura 2. Cables de cobre en par trenzado y en construcción coaxial



Fuente: Superior Essex. *Superior Essex Communications products catalog 2017*, p. A-100 y

A-116

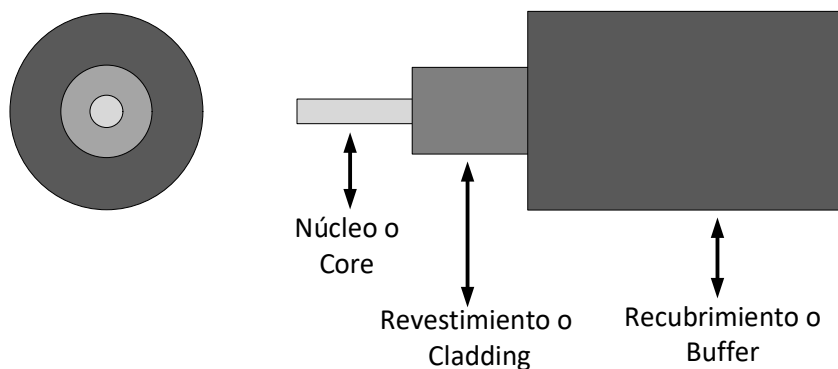
En la figura 2 se muestra, la diferencia física de la construcción de los cables de cobre en par trenzado, utilizado típicamente para señales de telefonía y el cable coaxial típicamente utilizado para señales de CATV.

1.4.3. Fibra óptica

Es un medio de transmisión utilizado en telecomunicaciones es un hilo fino construido de vidrio o plástico, por el cual se envían pulsos de luz, los cuales representan los bits de datos en transmisión. El hilo transparente es cubierto por un forro con un índice de refracción menor al núcleo, por lo tanto, el haz de luz se mantiene confinado y viaja a través del hilo de fibra óptica. Al utilizar luz y no señales eléctricas, la fibra óptica es completamente inmune a la interferencia electromagnética.

Los métodos avanzados de construcción de fibra óptica hacen que su atenuación por distancia sea bastante baja por lo que es el medio principal para enviar señales de gran ancho de banda y a distancias superiores a cualquier medio de cobre. En la figura 3 se muestra la construcción interna de un cable de fibra óptica, el cual se utiliza para transmitir información en forma de luz.

Figura 3. **Construcción interna de cable de fibra óptica**



Fuente. elaboración propia.

Entre las desventajas que se pueden mencionar de la fibra óptica es su proceso complejo de fabricación, lo cual la hace más costosa que el cable de cobre; adicionalmente las herramientas y mano de obra especializado que se requiere para su instalación y reparaciones hacen que el costo en este ámbito también sea elevado.

1.5. Tendencias actuales y futuras

Debido a la convergencia de servicios que se ha mencionado anteriormente, se pueden entregar una mayor parte de servicios por un solo medio, por lo que la entrega de servicios utilizando como medio de transmisión fibra óptica, permite a los operadores estar preparados para entregar más servicios a mayor ancho de banda sobre el cableado instalado, reduciendo así costos de instalación y mantenimiento a largo plazo.

Según se describe en la sección anterior, el costo de equipos y mano de obra especializada, hacen que el mantenimiento de una red de fibra óptica sea bastante elevado respecto al cobre, pero en la práctica, una red de fibra óptica correctamente instalada tiene una probabilidad de falla bastante baja por lo que, aunque el costo de mantenimiento individual sea relativamente mayor que el cobre, en grandes despliegues el costo de mantenimiento de la red de fibra óptica es menor que el de una red de cobre.

Se toma en cuenta que el presente trabajo está enfocado a un modelo de edificio de clientes de tipo comercio y oficinas, en este aspecto las instalaciones con fibra óptica toman una gran relevancia basado en los siguientes puntos:

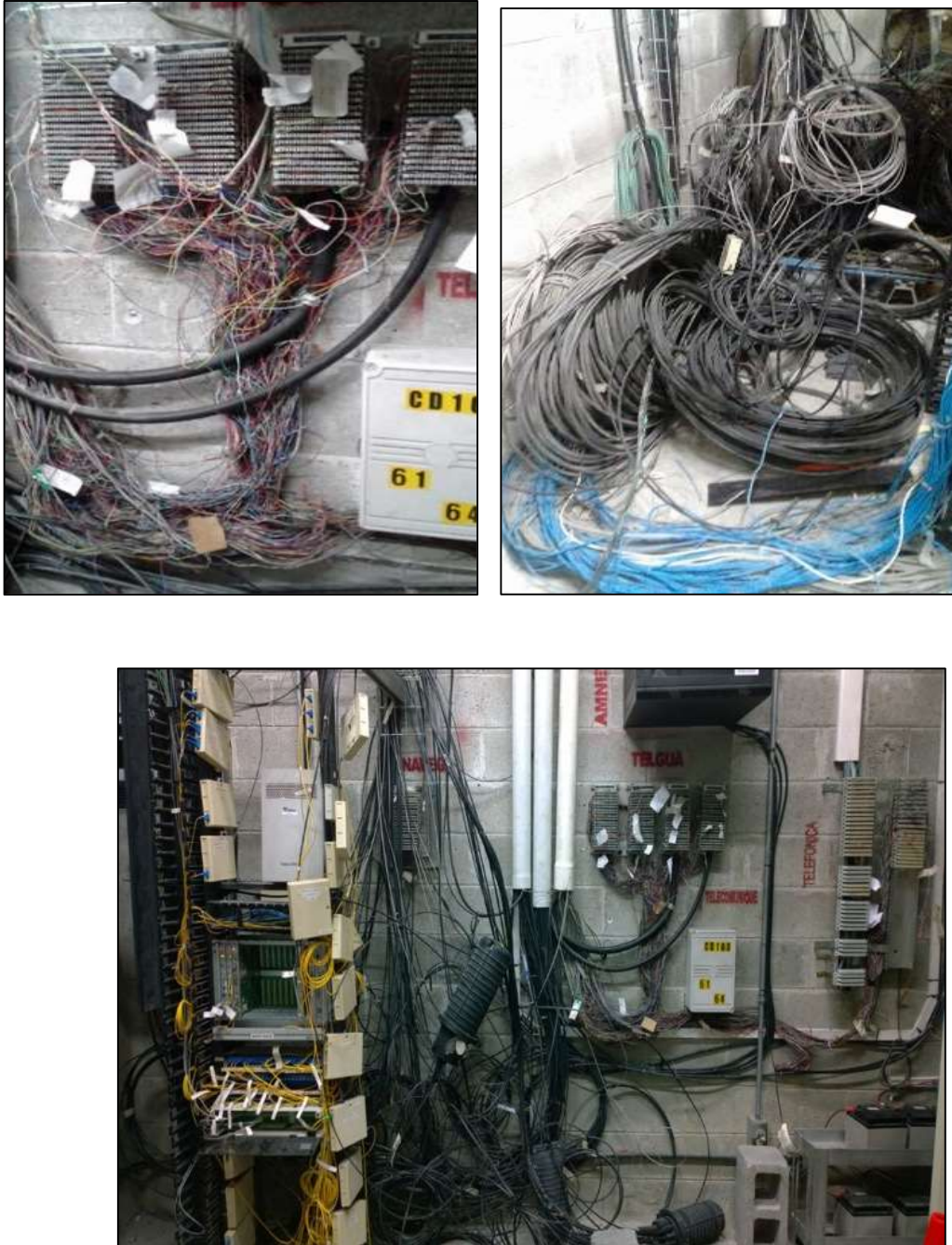
- El edificio que se propone incluye oficinas de empresas medianas y grandes, por lo que se estima que los servicios son de alta demanda de calidad y ancho de banda.
- Aunque los operadores de servicios en Guatemala aún utilizan cobre para entregar servicios es principalmente para servicios de tipo residencial.
- La creciente demanda de servicios de mayor ancho de banda y alta disponibilidad hace que los operadores desarrollen servicios en equipos que utilicen como medio de transmisión únicamente la fibra óptica.

1.6. Problemática de instalación en edificios

Los servicios de telecomunicaciones son esenciales para el funcionamiento de cualquier negocio en la actualidad. Cualquier edificio comercial debe considerar que los locales comerciales u oficinas que se encuentren ahí utilizarán al menos un servicio de un operador de telecomunicaciones; en el caso de las grandes empresas pueden tenerse diversos servicios de diversos operadores. Cada servicio de telecomunicaciones requiere un cableado que transporte las señales necesarias para la comunicación, estos cableados deben ingresar a cada uno de los locales u oficinas del edificio utilizando la infraestructura de ductos o canalizaciones provista para esto.

El problema que se presenta en la actualidad la diversidad de operadores que ofrecen servicios, realizan cableados sin tener un control adecuado dentro de los edificios, generando saturación de tuberías, daños a instalaciones existentes y desperdicio dejado por infraestructura en desuso. Esos aspectos impactan en el nivel de servicio ofrecido a los clientes y generan problemas de control, operación y mantenimiento para la administración del edificio.

Figura 4. Instalaciones sin planificación en centros comerciales



Fuente. Grupo Spectrum. Ciudad de Guatemala.

Parte de la problemática es que cuando se construye el edificio la canalización se diseña en paralelo a la red eléctrica y como una red de telefonía punto a punto desde el punto de acometida de operadores, esto limita las posibilidades de diseño en la red y su mantenimiento a largo plazo. En los casos más complicados se realizan implementaciones sobre la infraestructura de edificios antiguos, donde no hay posibilidad de adecuar las canalizaciones y ductos. Este trabajo se enfoca en el caso ideal, donde se tiene la posibilidad de diseñar todos los aspectos desde la fase de construcción para tener una red optimizada para desempeño, operación, mantenimiento y escalabilidad por muchos años.

2. LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN

La fibra óptica es un hilo flexible y transparente hecho de vidrio o plástico con un diámetro similar al de un cabello humano. Se usa con mayor frecuencia como un medio para transmitir luz entre sus dos extremos, principalmente, en comunicaciones ópticas para transmitir información a largas distancias y anchos de banda mayores que los cables eléctricos.

Debido a su gran capacidad de transportar información, con un ancho de banda y distancia además de su inmunidad a la interferencia electromagnética la fibra óptica está ganando cada día más terreno en aplicaciones de telecomunicaciones siendo la tendencia a que todos los servicios provistos por los operares de telecomunicaciones sean entregados con este medio de acceso.

La fibra óptica, de acuerdo con su construcción tiene características que optimizan su desempeño según las aplicaciones requeridas. En este capítulo se desarrolla todas las características que tipifican la fibra óptica y los accesorios necesarios para su conexión y operación, con un enfoque muy marcado hacia la utilización como medio de acceso en servicios de telecomunicaciones.

2.1. Principios de fibra óptica y su construcción

La fibra óptica es una guía de onda dieléctrica cilíndrica que transmite la luz a lo largo de su eje, el funcionamiento de la fibra óptica se debe principalmente al proceso de reflexión interna total. Es un núcleo rodeado por una capa de revestimiento, ambos están hechos de materiales dieléctricos.

Para limitar la señal óptica en el núcleo, el índice de refracción del núcleo debe ser mayor que el del revestimiento. El límite entre el núcleo y el revestimiento puede ser abrupto, en fibra de índice escalonado, o gradual, en fibra de índice gradual.

2.1.1. Índice de refracción y reflexión interna total

El índice de refracción es una forma de medir la velocidad de la luz en un material. La luz viaja más rápido en el vacío, como en el espacio exterior. La velocidad de la luz en el vacío es de aproximadamente 300 000 kilómetros por segundo. El índice de refracción de un medio se calcula dividiendo la velocidad de la luz en el vacío por la velocidad de la luz en ese medio. El índice de refracción en el vacío es por definición uno. El índice de refracción es utilizado es definido como “n” en la ley de Snell.

$$n_1 * \text{sen}(\theta_1) = n_2 * \text{sen}(\theta_2)$$

La ley de Snell muestra que el índice de refracción del primer medio, por el seno del ángulo con el que incide la luz en el segundo medio es igual al índice del segundo medio por el seno del ángulo con el que sale propagada la luz en el segundo medio.

Figura 5. **Refracción de la luz en dos medios distintos según la ley de Snell**

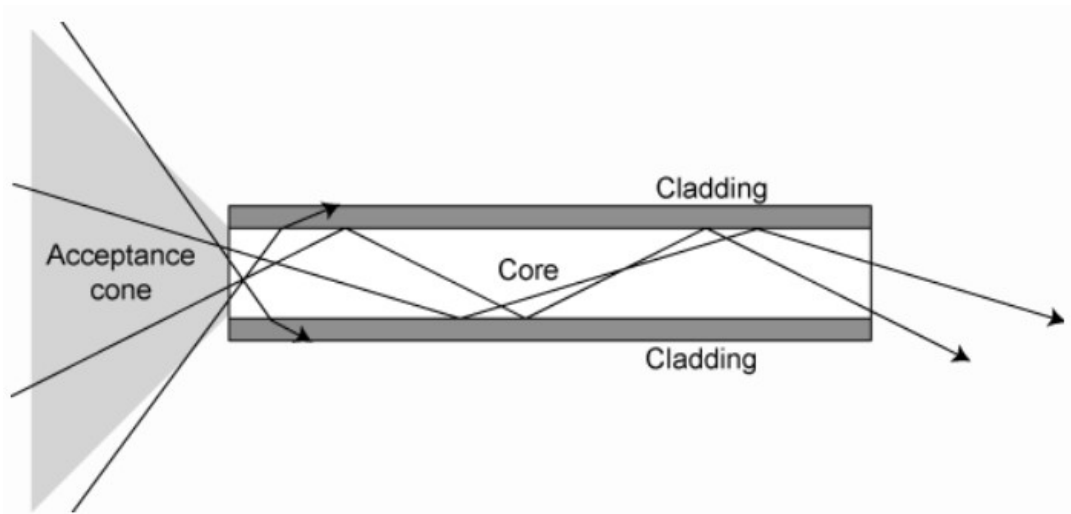


Fuente: Telectronika. *Principios de fibra óptica*. <https://telectronika.com/articulos/fibra-optica>.

Consulta: enero de 2019

Cuando la luz que viaja en un medio ópticamente denso llega a un límite en un ángulo pronunciado o mayor que el ángulo crítico del límite, la luz se refleja por completo, a esto se le llama reflexión interna total. Este efecto se usa en fibras ópticas para confinar la luz en el núcleo. La luz viaja a través del núcleo de la fibra, rebotando hacia adelante y hacia atrás fuera del límite entre el núcleo y el revestimiento. Debido a que la luz debe alcanzar el límite con un ángulo mayor que el ángulo crítico, solo la luz que ingresa a la fibra dentro de un cierto rango de ángulos puede viajar por la fibra sin desviarse. Este rango de ángulos se llama cono de aceptación de la fibra. El tamaño de este cono de aceptación es una función de la diferencia de índice de refracción entre el núcleo de la fibra y el revestimiento. En la figura 6 se muestra como dos haces de luz ingresan en un ángulo comprendido dentro del cono de aceptación y por lo tanto viaja por el núcleo de la fibra óptica, así mismo muestra como dos haces ingresan fuera de los ángulos permitidos por el cono por lo tanto son absorbidos por el recubrimiento.

Figura 6. **Haces de luz viajando dentro de la fibra óptica y el cono de aceptación**



Fuente: Telectronika. *Principios de fibra óptica*. <https://telectronika.com/articulos/fibra-optica>.
Consulta: enero de 2019.

2.1.2. Partes de la fibra óptica

Según lo expuesto, la fibra óptica en su estado más simple utiliza dos partes para su funcionamiento: núcleo y revestimiento. En este estado la fibra óptica es muy frágil, por lo que requiere varios recubrimientos para que pueda utilizarse en escenarios prácticos. En esta sección se describe los tres partes de un cable de fibra óptica que puede utilizarse en la práctica.

2.1.2.1. Núcleo

El núcleo, que transporta la luz es la parte más pequeña de la fibra óptica. El núcleo de la fibra óptica generalmente está hecho de vidrio, aunque algunos están hechos de plástico. El vidrio utilizado en el núcleo es dióxido de silicio extremadamente puro. En el proceso de fabricación, se utilizan dopantes como

germanio, pentóxido de fósforo o aluminio para elevar el índice de refracción en condiciones controladas.

Los núcleos de fibra óptica se fabrican en diferentes diámetros para diferentes aplicaciones. Los núcleos de vidrio típicos van desde tan pequeños como 3,7 micrómetros hasta 200 micrómetros. Los tamaños de núcleo comúnmente utilizados en telecomunicaciones son 9 μm , 50 μm y 62,5 μm . Los núcleos de fibra óptica de plástico pueden ser mucho más grandes que el vidrio

2.1.2.2. Revestimiento

También se le conoce por su nombre en inglés *cladding*, rodea el núcleo y proporciona el índice de refracción más bajo para hacer que la fibra óptica funcione. Cuando se utiliza el revestimiento de vidrio, el revestimiento y el núcleo se fabrican juntos a partir del mismo material a base de dióxido de silicio en un estado de fusión permanente. El proceso de fabricación agrega diferentes cantidades de dopantes al núcleo y al revestimiento para mantener una diferencia en los índices de refracción entre ellos.

Al igual que el núcleo, el revestimiento se fabrica en diámetros estándar. Los dos diámetros más utilizados son 125 μm y 140 μm . El revestimiento de 125 μm generalmente admite tamaños de núcleo de 9 μm , 50 μm , 62,5 μm y 85 μm .

2.1.2.3. Recubrimiento

Es la capa protectora de la fibra óptica es también conocido por su denominación en inglés, *buffer*. El recubrimiento absorbe los golpes, muescas, raspaduras e incluso la humedad que podría dañar el revestimiento. Sin el recubrimiento, la fibra óptica es muy frágil. Un solo corte microscópico en el

revestimiento podría causar que la fibra óptica se rompa cuando se dobla. El recubrimiento es esencial para todas las fibras de vidrio.

El recubrimiento es únicamente protector. No contribuye de ninguna manera a la capacidad de transporte de luz de la fibra óptica. El diámetro exterior del recubrimiento suele ser de 250 μm o 500 μm . Generalmente, el recubrimiento es incoloro. Sin embargo, en algunas aplicaciones, el recubrimiento es de color, de modo que se pueden identificar las fibras ópticas individuales en un grupo de fibras ópticas.

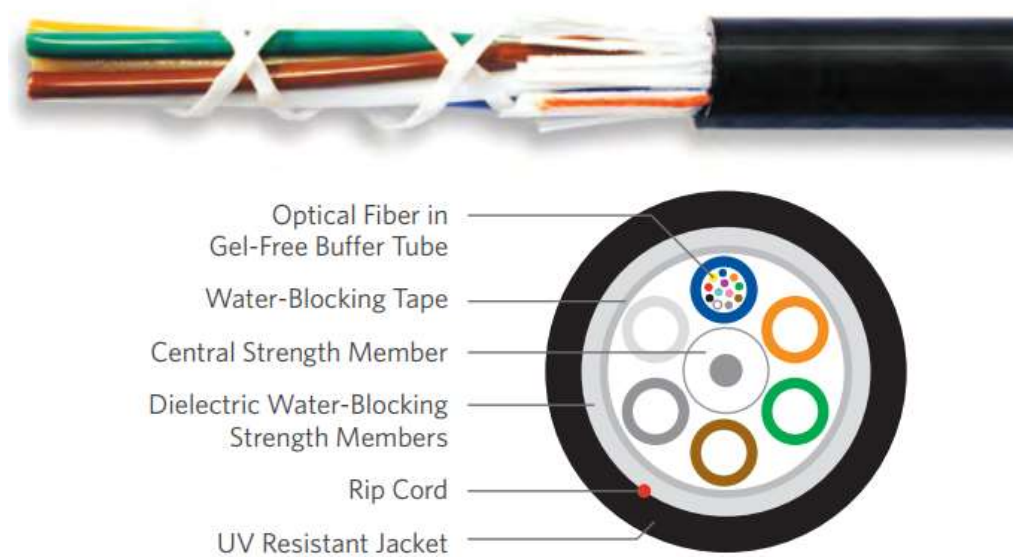
2.1.2.4. Chaqueta o forro

Según la aplicación para la cual se requiera el cable de fibra óptica se aplican varias chaquetas que fortalecen el cable para dar resistencia a la tracción, al aplastamiento, temperatura y humedad.

Esta chaqueta puede contener varios hilos de fibra óptica agrupados en un solo cable y es diseñado para diferentes usos, por ejemplo, exteriores a la intemperie, o interiores el cual debe ser no inflamable. La importancia de estos forros y su aplicación se detallará de forma más amplia en el capítulo 3.

En la figura 7 se muestra un cable que contiene varios hilos de fibra óptica y con una chaqueta diseñada para intemperie, ya que resiste los rayos ultravioletas y la humedad.

Figura 7. **Cable de varias fibras ópticas diseñado para exterior**



Fuente: Superior Essex. *Superior Essex Communications products catalog 2017*, p. B-2.

2.2. **Ventajas y desventajas de la fibra óptica**

El uso de fibra óptica como medio de acceso para servicios de telecomunicaciones, representa varias ventajas, entre estas resaltan, la capacidad de transmisión de mayor ancho de banda a mayores distancias y la completa inmunidad a las interferencias electromagnéticas.

En resumen, la fibra óptica debido a sus bondades como medio de transmisión de información, soporta aplicaciones actuales y ampliación a aplicaciones futuras donde se requiera mayor ancho de banda. Adicionalmente se tiene una ventaja que se ha visto en los recientes años, con el crecimiento de la importancia de la seguridad de la información. Sustraer la información a través de las señales que viajan en la fibra óptica es virtualmente imposible ya

que, aunque existen equipos derivadores o TAPs estos deben usarse en un ambiente controlado para interrumpir la transmisión de datos y regenerarla.

Como principales desventajas que se presentan en el uso de fibra óptica se tienen:

- Técnicas de fabricación muy especializadas, lo cual hace que su costo por hilo individual sea superior a un par de cobre.
- El equipo y herramientas necesarias para la conexión de fibra óptica, para garantizar un correcto desempeño es de alto costo.
- Se requiere mano de obra especializada para la construcción y operación de una red de fibra óptica.
- Los equipos de red que operan con fibra óptica necesitan fuentes y sensores de laser especializados, lo cual hace que sean más costosos en relación con los equipos de cobre.

La mayor desventaja de las redes de fibra óptica respecto con las redes de cobre es el costo, desde su fabricación, hasta la operación y el mantenimiento. Sin embargo, los operadores de telecomunicaciones han incrementado su consumo de fibra óptica, por ello, el costo de la materia prima y la fabricación han bajado al grado de que este es similar a un par de cobre. Los fabricantes de equipos están reduciendo sus costos para operar con fibra óptica y, además, para proveerlos de una vida útil larga y para que soporten crecimientos de ancho de banda sin reemplazarse, por lo cual es una mejor inversión a largo plazo.

Finalmente, en la práctica, una red de fibra óptica correctamente construida requiere un mínimo de operación y mantenimiento, en contraposición, el cobre que, aunque su despliegue inicial es relativamente más

económico es más propenso a fallas por lo que su costo de operación y mantenimiento a largo plazo puede incluso llegar a superar su costo inicial.

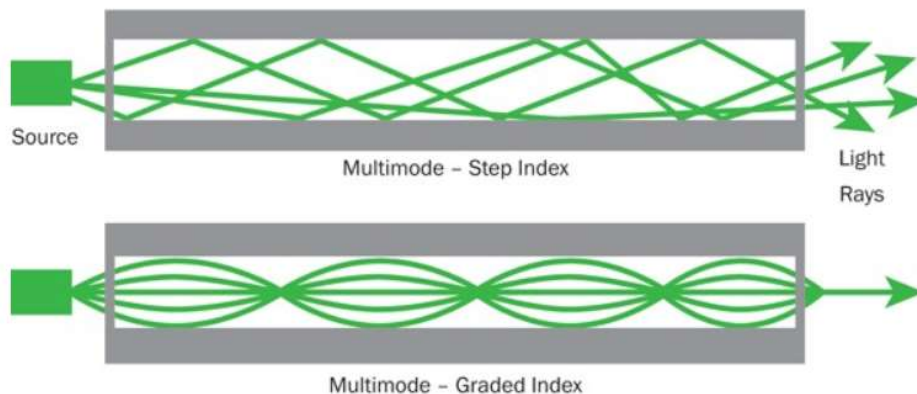
2.3. Clasificación de la fibra óptica

De acuerdo con los métodos de construcción se han desarrollado dos tipos o clasificaciones de fibra óptica. Estas son monomodo y multimodo estos nombres se derivan de la forma en que las fibras permiten la propagación de la luz en su interior.

2.3.1. Fibra óptica multimodo

La característica principal de esa de fibra óptica es que cuenta con un núcleo entre 50 o 62,5 micrones de diámetro permitiendo varios haces de luz tomando diferentes trayectorias, estas trayectorias son llamados modos. Las características de esta fibra hacen que pueda transportar mucha más información llegando a velocidades de hasta 100 Gbps, pero es más susceptible a atenuaciones por distancia y curvatura. Por eso, las fibras ópticas multimodo típicamente se usan para equipos dentro de un ambiente LAN o centros de datos donde no se requiere cubrir grandes distancias, pero se necesitan altas tasas de transferencias de información.

Figura 8. **Trayectorias de luz en la fibra óptica multimodo de índice escalonado e índice gradual**



Fuente: Fiber Optic Share. *Fiber optic network products*. <http://www.fiber opticshare.com/single-mode-fiber-vs-multimode-fiber>. Consulta: enero de 2019

Existen dos tipos de fibra óptica multimodo y se refiere al índice de refracción interno. La fibra de índice escalonado la cual todo el núcleo está construido de un material con el mismo índice de refracción, en la cual los diferentes haces de luz con diferentes trayectorias viajan a diferentes velocidades lo cual provoca dispersión, ya que estos llegan al receptor en distinto orden al que salieron del emisor. La fibra de índice graduado está construida de tal forma que tiene diferentes índices de refracción concéntricos al núcleo lo cual, controla la forma que la luz viaja a través de las diferentes trayectorias de núcleo y, por lo tanto, garantiza la coherencia del mensaje de emisor a receptor. Como es de esperarse, la fibra de índice escalonado tiene un mejor desempeño en relación de ancho de banda y atenuación.

En los inicios de la aplicación de fibra óptica, la fuente de luz utilizada típicamente para la transmisión en fibra multimodo es el led o diodo emisor de luz, por sus siglas en inglés. El uso de luz led típicamente permite que los

equipos transmisores y receptores sean relativamente económicos y puedan dar las diferentes trayectorias de luz de acuerdo con el tamaño del núcleo de la fibra óptica.

De acuerdo con el aumento demanda de ancho de banda y distancia requerida para transmisión se han desarrollado cambios en la construcción y de la fibra óptica y el soporte de la fuente de luz laser la cual permite una menor atenuación que las fuentes típicas led. La clasificación de fibra óptica multimodo de acuerdo con estos parámetros es la siguiente:

- OM1: Núcleo de 62,5 μm fuente de luz led
- OM2: Núcleo de 50 μm fuente de luz led
- OM3: Núcleo de 50 μm fuente de luz Laser
- OM4: Núcleo de 50 μm fuente de luz Laser

Para ampliar la información se presenta la tabla I donde se muestra la clasificación de las categorías de fibra óptica multimodo y su respectivo desempeño de acuerdo con la fuente de luz, distancia, atenuación y ancho de banda. Aunque se tiene clasificación para varios estándares de comunicación, este extracto se enfoca en Ethernet.

Tabla I. Máximas distancias soportadas y atenuaciones de canal para aplicaciones de fibra óptica multimodo

	Fiber Type	62.5/125 μm		50/125 μm		850 nm laser-optimized 50/125 μm			
	Fiber Standard	TIA 492AAAA (OM1)		TIA 492AAAB (OM2)		TIA 492AAAC (OM3)		TIA 492AAAD (OM4)	
	Nominal wavelength (nm)	850	1300	850	1300	850	1300	850	1300
Application	Parameter								
Ethernet 10/100BASE-SX	Channel attenuation (dB)	4.0	-	4.0	-	4.0	-	4.0	-
	Supportable distance m (ft)	300 (984)	-	300 (984)	-	300 (984)	-	300 (984)	-
Ethernet 100BASE-FX	Channel attenuation (dB)	-	11.0	-	6.0	-	6.0	-	6.0
	Supportable distance m (ft)	-	2000 (6560)	-	2000 (6560)	-	2000 (6560)	-	2000 (6560)
Ethernet 1000BASE-SX	Channel attenuation (dB)	2.6	-	3.6	-	-	-	-	-
	Supportable distance m (ft)	275 (900)	-	550 (1804)	-	Note 1	-	Note 1	-
Ethernet 1000BASE-LX	Channel attenuation (dB)	-	2.3	-	2.3	-	2.3	-	2.3
	Supportable distance m (ft)	-	550 (1804)	-	550 (1804)	-	550 (1804)	-	550 (1804)
Ethernet 10GBASE-S	Channel attenuation (dB)	2.4	-	2.3	-	2.6	-	2.9	-
	Supportable distance m (ft)	33 (108)	-	82 (269)	-	300 (984)	-	400 (1312)	-
Ethernet 10GBASE-LX4	Channel attenuation (dB)	-	2.5	-	2.0	-	2.0	-	2.0
	Supportable distance m (ft)	-	300 (984)	-	300 (984)	-	300 (984)	-	300 (984)
Ethernet 10GBASE-LRM	Channel attenuation (dB)	-	1.9	-	1.9	-	1.9	-	1.9
	Supportable distance m (ft)	-	220 (720)	-	220 (720)	-	220 (720)	-	220 (720)
Ethernet 40GBASE-SR4	Channel attenuation (dB)	-	-	-	-	1.9	-	1.5 ²	-
	Supportable distance m (ft)	-	-	-	-	100 (328)	-	150 (492)	-
Ethernet 100GBASE-SR4	Channel attenuation (dB)	-	-	-	-	1.9	-	1.9	-
	Supportable distance m (ft)	-	-	-	-	70 (230)	-	100 (328)	-
Ethernet 100GBASE-SR10	Channel attenuation (dB)	-	-	-	-	1.9	-	1.5 ²	-
	Supportable distance m (ft)	-	-	-	-	100 (328)	-	150 (492)	-

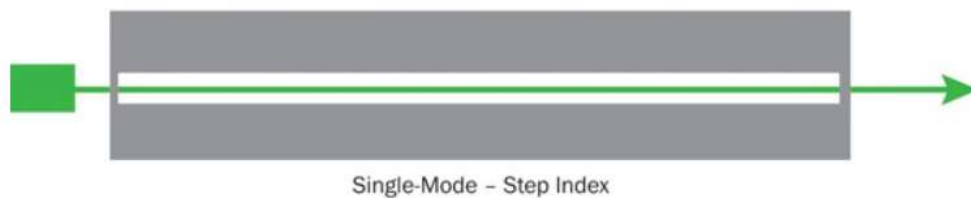
Fuente: Telecommunications Industry Association. *Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises, TIA 568.0 Revision D*, p 32.

2.3.2. Fibra óptica monomodo

Cuenta con un núcleo bastante menor a la fibra multimodo, típicamente $9\mu\text{m}$. Al tener un núcleo tan reducido únicamente puede viajar un haz de luz o modo, en una trayectoria; esto permite que la atenuación sea mínima y por lo tanto la distancia a la que se puede transmitir la información supere los límites de la fibra multimodo.

La fibra monomodo tiene un cono de aceptación reducido por lo cual, la fuente de luz requerida para transmitir a través de esta fibra es más especializada y costosa. Típicamente se utiliza emisores de luz laser y lentes especializados en los receptores, esto hace que los equipos en principio tengan un costo mayor a los utilizados en fibras multimodo.

Figura 9. Trayectoria de la luz en la fibra óptica monomodo



Fuente: Fiber Optic Share. *Fiber optic network products*. <http://www.fiber opticshare.com/single-mode-fiber-vs-multimode-fiber>. Consulta: enero 2019.

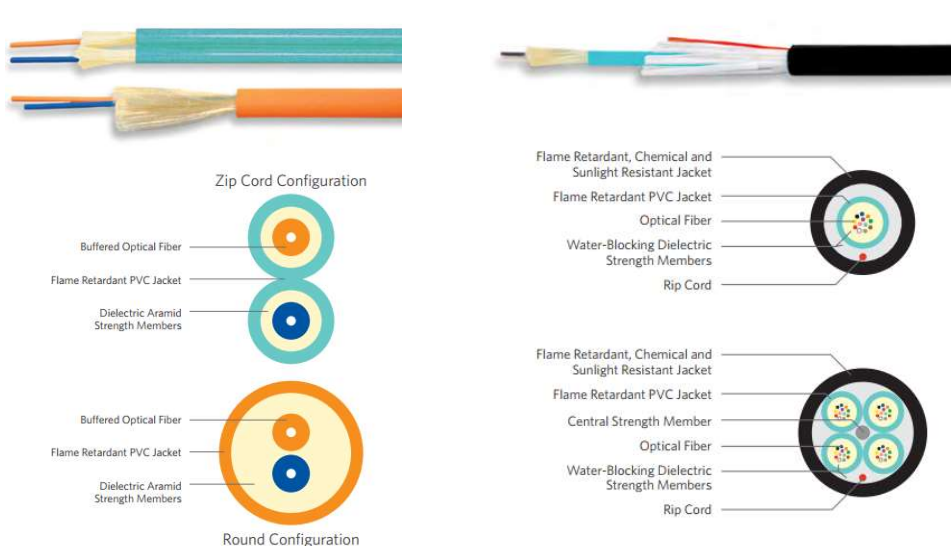
Por las características anteriormente descritas el uso de fibra óptica monomodo, se ha generalizado para transmisión a redes WAN, en las cuales se tienen distancias de 10 km a 20 km en los ambientes metropolitanos para redes de operadores de servicios. Estas distancias difícilmente podrían ser cubiertas con fibras multimodo.

Dentro de las fibras monomodo se tiene dos clasificaciones principales de acuerdo con su desempeño en atenuación; estas son OS1 y OS2, siendo a OS2 estándar más reciente y, por lo tanto, con mejor desempeño para aplicaciones de planta externa. A continuación, se describe algunas de las características de las clasificaciones de fibra óptica monomodo:

- OS1. Para aplicaciones de interior, construcción tipo *Tight Buffer* y una atenuación de 1,0 dB/km.
- OS2. Para aplicaciones de planta externa, construcción tipo *Loose Tube* y una atenuación de 0,4 dB/km.

En la figura 10 se muestra la diferencia de la construcción de los cables *Tight Buffer* y *Loose Tube*, esta construcción los hace más adecuados para aplicaciones de interior o exterior.

Figura 10. **Diferencias de construcción de cables de fibra óptica Tight Buffer y Loose Tube**



Fuente: Superior Essex. *Superior Essex Communications products catalog 2017*, p. A-2 y A-16.

Otra característica típica de los ambientes de planta externa con fibra monomodo es la utilización de un solo hilo para transmisión y recepción de datos, caso contrario a multimodo que requiere un hilo para cada canal. Por lo tanto, los interfaces ópticos de equipos llamados transceptores requieren el uso de láser y lentes especiales que permitan ambas trayectorias de luz funcionar correctamente sobre un mismo hilo.

La tabla II muestra las características de atenuación y máxima distancia permitida para ambos tipos de fibra monomodo. Aunque hay más aplicaciones este extracto se enfoca en Ethernet.

Tabla II. **Máxima atenuación de canal y atenuaciones permitidas para canales de fibra monomodo según su aplicación**

	Fiber Type	Dispersion unshifted single mode and low-water-peak	
	Fiber Standard	TIA 492CAAA (OS1) and TIA 492CAAB (OS2)	
	Nominal wavelength (nm)	1310	1550
Application	Parameter		
Ethernet 1000BASE-LX	Channel attenuation (dB)	4.5	-
	Supportable distance m (ft)	5000 (16405)	-
Ethernet 10GBASE-LX4	Channel attenuation (dB)	6.3	-
	Supportable distance m (ft)	10000 (32810)	-
Ethernet 10GBASE-E	Channel attenuation (dB)	-	11.0
	Supportable distance m (ft)	-	40000 (131230)
Ethernet 10GBASE-L	Channel attenuation (dB)	6.2	-
	Supportable distance m (ft)	10000 (32810)	-
Ethernet 40GBASE-LR4	Channel attenuation (dB)	6.7	-
	Supportable distance m (ft)	10000 (32810)	-
Ethernet 40GBASE-FR	Channel attenuation (dB)	4.0	-
	Supportable distance m (ft)	2000 (6562)	-
Ethernet 100GBASE-LR4	Channel attenuation (dB)	6.3	-
	Supportable distance m (ft)	10000 (32810)	-

Fuente: Telecommunications Industry Association. *Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises, TIA 568.0 Revision D*. p 33.

2.3.3. Tipos de conectores y pulidos de fibra óptica

Las conexiones entre fibras ópticas deben ser precisas para evitar degradación de la señal de luz o pérdida de esta, los puntos críticos de esta continuidad de luz se encuentran en los puntos donde se transmite y se recibe la luz en los equipos de telecomunicaciones y en lugares donde se cambia el tipo de cable para realizar una conexión, por ejemplo, cuando se finaliza la instalación de plata externa con un cable para intemperie con poca flexibilidad, hacia un cable para interior flexible para conectar al equipo activo.

Los conectores tienen como principal función el alinear los núcleos de los cables de fibra óptica a unir y mantenerlos sujetos mecánicamente de forma que se dé una trayectoria continua para la luz generando el mínimo posible de pérdidas.

2.3.3.1. Conectores

De acuerdo con las necesidades mecánicas de conexión y el tamaño que se puede ocupar para estas conexiones se han diseñado varios tipos de conectores, los cuales se listan a continuación:

- SC: conector cuadrado de mayor predominancia en aplicaciones de fibra monomodo.
- LC: conector de perfil reducido utilizado para conexión hacia equipos de telecomunicaciones, utilizado en aplicaciones de fibra monomodo y multimodo.
- FC: conector redondo con seguro mecánico en forma de rosca, utilizado en conexiones multimodo.

- ST: conector redondo similar a FC, únicamente para aplicaciones multimodo, utilizado únicamente en equipos antiguos.
- MPO: Conector de múltiples fibras ópticas, típicamente utilizado en centros de datos, sin posibilidad que sean fabricados o reparados en campo.

En la figura 11 se muestra las imágenes de los tipos de conectores descritos anteriormente. Como se menciona los conectores ST y FC, los cuales ya no se utilizan en implementaciones a menos que se tenga que conectar con equipos antiguos que únicamente admitan este tipo de conector. Los conectores MPO están enfocados específicamente a la conectividad de equipos en centros de datos se fabrican a medida y se componen de varios hilos de fibra óptica de una manera compacta. En el ámbito de las telecomunicaciones al que está enfocado este trabajo los conectores comúnmente utilizados son los SC y LC. Los conectores SC se utilizan para cualquier conexión intermedia de fibras ópticas, por ejemplo, centros de distribución y los LC para conexión a equipos activos.

Figura 11. **Tipos de Conectores para Fibra Óptica SC, LC, ST y MPO**



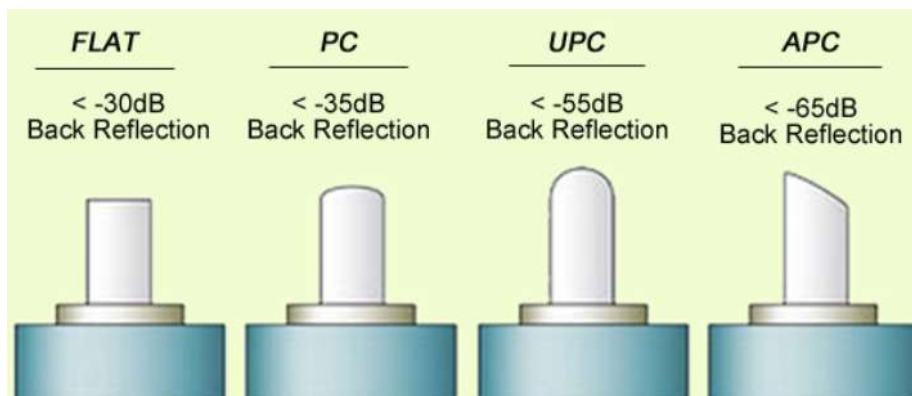
Fuente: TREZISE, Shaun. *Fiber Connectors*. <https://www.ppc-online.com/blog/fiber-connectors-whats-the-difference>. Consulta: febrero de 2019.

2.3.3.2. Tipos de pulidos

El pulido de la fibra óptica se refiere a la superficie de contacto de la fibra óptica dentro del conector, la cual afectara la forma que la luz se refleje al salir de un núcleo y entrar al otro cuando exista una conexión.

Existen cuatro tipos de pulidos cada uno de los cuales representa una diferente pérdida de retorno de acuerdo con la superficie de contacto entre núcleos. Los pulidos planos y PC fueron los primeros en desarrollarse y están fuera de uso para implementaciones nuevas a menos que se interactúe con equipos antiguos.

Figura 12. Tipos de pulidos para conectores de fibra óptica



Fuente: Fiber Optic Components, *Evolution of flat, PC, UPC and APC fiber connectors*.
<http://www.fiber-optic-components.com/evolution-of-flat-pc-upc-and-apc-fiber-connectors.html>.

Consulta: febrero de 2019.

Los conectores para fibra óptica monomodo en la actualidad utilizan los pulidos UPC de las siglas en inglés *Ultra Physical Contact* y el pulido angulado APC *Angled Physical Contact*. Los conectores con pulido UPC maximizan el

área de contacto entre los núcleos y son los preferidos para la conexión a los transceptores de los equipos de comunicación. Los Conectores con pulido APC reducen el efecto de reflexión directa hacia la fuente de luz y son típicamente utilizados en los centros de interconexión.

No se debe intentar utilizar conectores con diferente tipo de pulido, ya que, por la diferencia de tipo de contacto, la pérdida es muy alta y por la diferencia física se dañarían uno al otro haciéndolos inservibles.

2.4. Accesorios necesarios para la conexión de fibra óptica

Las características de los accesorios necesarios para conexión de una red de fibra óptica descrita en esta sección parten de la estructura de servicios de los operadores de telecomunicaciones descritas en primer capítulo. En esta sección se describen los cables y accesorios necesarios para hacer la distribución y la terminación para la conexión de equipos de telecomunicaciones.

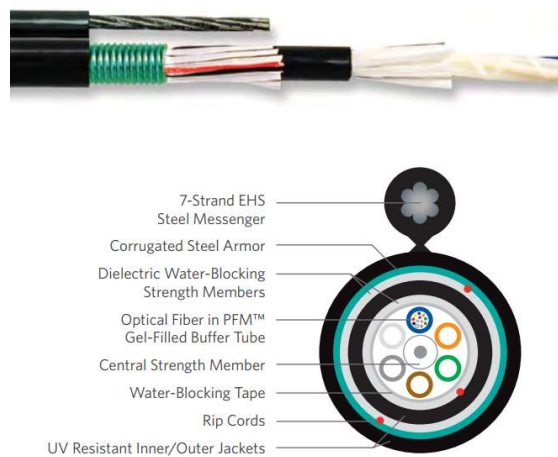
2.4.1. Cables troncales y de abonados

Si se toma en cuenta que las conexiones para clientes salen de nodos centralizados, quiere decir que de estos nodos salen múltiples hilos de fibra óptica para entregar estos servicios. El uso de un cable desde un nodo a cada cliente es impráctico, por el manejo de múltiples cables en la planta externa y las acometidas a los edificios.

Para reducir esta cantidad de cables se utilizan cables troncales desde los nodos hasta los gabinetes de distribución. Estos cables contienen varios hilos de fibra óptica agrupados en múltiples de 12 fibras, llamadas *buffers*. Cada

buffer tiene un color para identificar el orden y tener un correcto manejo de estos, de igual forma cada hilo de fibra óptica tiene un recubrimiento de diferente color para su identificación. Estos colores están normados según ANSI/TIA. El agrupar las fibras en múltiplos de 12 hace que los cables troncales típicamente se comercialicen en cables de 12, 24, 48 y 96 hilos y utilizan chaquetas, armaduras y miembros de fuerza según la aplicación para la cual se requieran. En la figura 13 se muestra un cable para aplicaciones de tendido en grandes distancias y cercano a líneas de alta tensión. Entre sus características puede observarse: las chaquetas son totalmente dieléctricas, para prevenir arcos eléctricos de las líneas de alta tensión, lleva una armadura para prevenir el aplastamiento de los hilos de fibra óptica, adicionalmente el cable de acero que acompaña llamado mensajero es necesario para poder soportar la deformación al ser tendido en forma aérea en distancias de hasta 200 m.

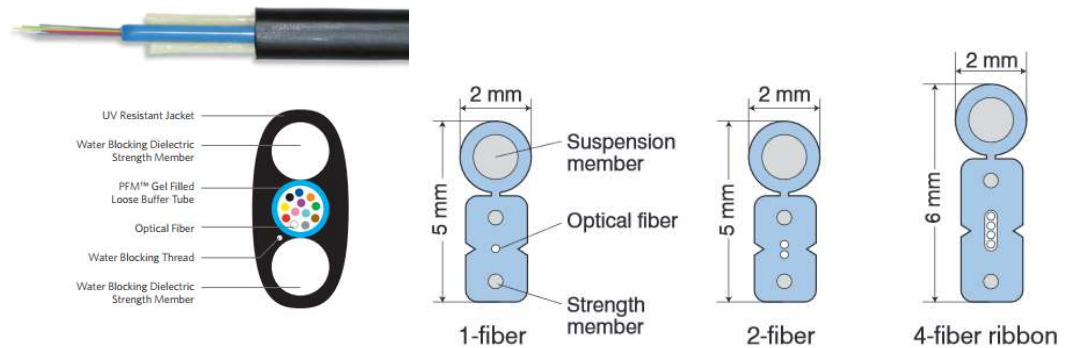
Figura 13. **Cable troncal para exterior con armadura y refuerzo de autoaporte**



Fuente: *Superior Essex. Superior Essex Communications products catalog 2017. p. B-21.*

Los cables que van desde el punto de distribución hacia el cliente son conocidos como cables de abonado. Estos cables contienen comúnmente 1 o 2 o hasta un máximo de 12 hilos de fibra óptica son muy delgados y flexibles para utilizarlos en las acometidas de los usuarios finales. Estos cables se construyen con chaquetas y elementos de fuerza para interior y exterior, pero soportan poca tensión al arrastre y aplastamiento. Este cable también se conoce como *Drop*.

Figura 14. Tipos de cables de abonado o drop



Fuente: *Superior Essex. Superior Essex Communications products catalog 2017*. p. B-50 y https://www.furukawa.co.jp/optcom/english/pdf/cable_drop.pdf. Consulta: febrero de 2019

En la figura 14 se muestran diferentes configuraciones de cables de abonado, estos varían en la forma de su construcción y la cantidad de hilos de fibra óptica que puede contener.

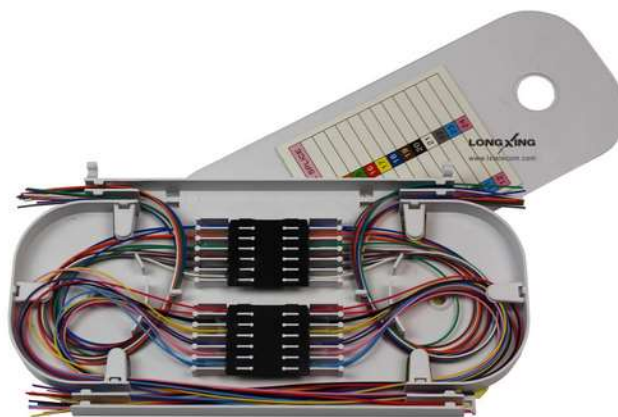
2.4.2. Cajas de empalmes o fusiones

Para unir o empalmar los hilos de fibra óptica se lleva a cabo un proceso llamado fusión el cual consiste en unir de forma permanente dos hilos de fibra

para dar continuidad de la trayectoria de la luz, sin que esta se refleje o se disperse. Esto se logra alineando perfectamente las puntas de los hilos a unir y elevar su temperatura al punto que el vidrio o plástico del cual sea el componente principal de las fibras se derrita y logre unirse como una sola pieza, finalmente esta pieza se recubre con un tubo termo encogible a fin de proteger la fusión.

Para realizar este proceso se requiere eliminar todas las capas de protección que recubren el hilo de fibra óptica, esta queda en un estado susceptible a daños por manipulación y elementos de la naturaleza. Por eso, las fusiones deben hacerse en cajas que protejan la parte sin forro de las fibras ópticas y permitan su mantenimiento. Estas cajas tienen diferentes formas y propiedades según la aplicación requerida y contienen bandejas diseñadas específicamente para organizar y colocar las fibras fusionadas de forma ordenada.

Figura 15. **Bandeja de fusiones de fibras ópticas**



Fuente. LongXing. *Fiber Optic Splice Tray*. <https://www.lxtelecom.com/fiber-optics/splice-tray/24-cores-fiber-tray-st-2d24b.html>. Consulta: febrero de 2019

Existen diversos tipos de cajas para fusiones, según el tipo de aplicación, uno de los principales diferenciadores es el uso en interior o exterior. Para uso en interior, existen cajas de montaje en *rack* estándar de 19 pulgadas o en pared, estas cajas permiten el ingreso de varios cables de fibra óptica diseñados para interior, los cuales tienen una chaqueta delgada y flexible que permite su fácil manejo en espacios reducidos. En la figura 16 se muestra un chasis específicamente diseñado para contener bandejas de fusiones de fibra óptica de forma compacta para colocación en dos unidades de rack, este tipo de cajas son utilizadas en centros de datos.

Figura 16. **Caja de empalmes para montaje en rack**



Fuente: Signamax. *Splice Tray Enclosures*. <https://signamax.com/optical-fiber-systems/splice-tray-enclosures/>. Consulta: febrero de 2019.

Para hacer empalmes en exterior, se requiere una caja que acepte cables con chaquetas y refuerzos necesarios para su desempeño exterior, adicionalmente que bloquee el ingreso de agua, partículas de polvo o insectos que puedan dañar los empalmes. Este tipo de cajas se conocen como cierres o mufas y están diseñados para contener bandejas que agrupan 12 empalmes o fusiones esto de acuerdo con la cantidad de hilos contenidos en los *buffers* de los cables troncales. Estos cierres se utilizan cuando no existe ningún tipo de

infraestructura en la calle y debe hacerse un empalme o centro de derivación directamente sobre postes en el caso de las rutas aéreas para cableado, o en ductos para rutas subterráneas.

Figura 17. **Caja de empalmes tipo cierre para exterior**



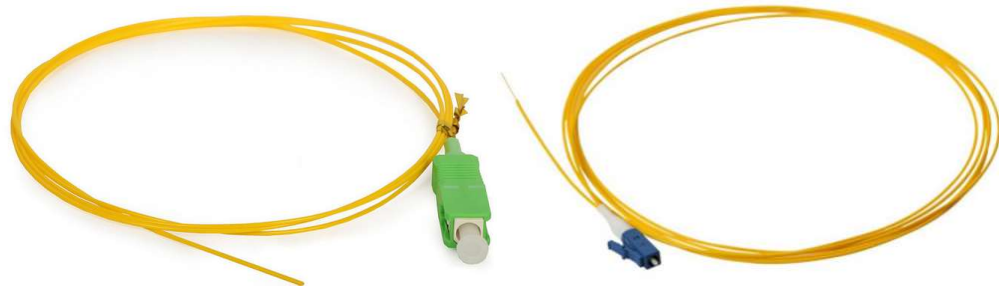
Fuente. Preformed Premium Line. *Fiber Networks*. <http://preformed.com/communications/fiber-networks/coyote-fiber-optic-closures/coyote-in-line-runt-closure>. Consulta: febrero de 2019.

2.4.3. Cajas terminales pigtails y patchcords

Para entregar una conexión terminal de fibra óptica en un cliente requiere que el cable de fibra óptica termine en un conector el cual permita tomar la señal de luz transmitida y conectar al equipo receptor.

Construir un conector para fibra óptica es un proceso delicado. Ejecutarlo en campo durante una instalación no garantiza resultados de correcto desempeño. Para simplificar esta tarea y garantizar la limpieza, la calidad del pulido y la correcta alineación del hilo de fibra óptica, se utiliza un tramo corto de fibra óptica con conector realizado y probado de fábrica, para fusionar al cable. Este cordón se conoce como *pigtail* y se fabrica con los diferentes tipos de conectores y pulidos descritos en las secciones anteriores de acuerdo con la aplicación por utilizar. También vienen en diferentes tamaños lo que permite, en caso de una mala fusión cortarse y fusionarse nuevamente.

Figura 18. **Pigtails de fibra monomodo con conectores SC/APC y LC/UPC**



Fuente: TTI Fiber Communication tech. *Fiber Optic Patchcords*. <http://www.fiber optic patch-cord.com/sale-2678236-optical-access-network-sc-apc-simplex>. Consulta: febrero de 2019.

Para hacer la fusión del cable de fibra óptica que entrega el servicio se requiere una caja con bandeja para hacer el soporte mecánico de esta. Esta caja debe ser pequeña para acomodar de 1 a 4 conexiones, que es una cantidad común para un servicio de telecomunicaciones.

Figura 19. **Caja terminal con un pigtail SC/UPC fusionado y conectado**



Fuente: 3C-Link. *Wall mount distribution box*. <http://3c-link.com/index.php/Wallmounted/show/176.html>. Consulta: febrero de 2019.

Finalmente, para conectar el equipo terminal de telecomunicaciones desde la caja se utiliza un *patchcord*. Este es un hilo de fibra con conectores en ambos extremos hechos de fábrica, su forro es flexible y fabricado de cierta forma que soporte radios de curvatura de tamaño reducido sin atenuar la señal. Los *patchcord* pueden tener la particularidad de utilizar dos tipos de conectores y pulidos diferentes en ambos extremos. En los ambientes de servicios de telecomunicaciones se utiliza conectores SC en las cajas terminales y LC en los transceptores de los equipos.

Figura 20. **Patchcord monomodo con conector SC/APC en un extremo y LC/UPC en el otro extremo**



Fuente: FS Technologies. *FS Fiber Products*. <https://www.fs.com/products/62905.html>.

Consulta: febrero de 2019.

2.4.4. ODF

El ODF (siglas del nombre en inglés *Optical Distribution Frame*) es un marco utilizado para posibilitar la interconexión entre sistemas de fibra óptica, conexión hacia equipos activos. El ODF es una caja de terminación de fibras ópticas la cual puede tener diferentes formas, incluso estar contenida dentro de un gabinete para exterior. El ODF, en el ámbito de los servicios de telecomunicaciones provistos por operadores es el que monta en *rack* estándar

de 19 pulgadas, dependiendo de la cantidad de conexiones que se requieran puede ocupar una o varias unidades de *rack*.

En un cuarto de telecomunicaciones donde se tienen de redes de diferente administración el ODF marca el inicio o fin de responsabilidades de una red, además de ser un punto para aislar y diagnosticar fallas. En el caso de una interconexión de este tipo la forma de dar continuidad a la trayectoria de luz es un *patchcord* entre el ODF donde termina la red “A” y el ODF donde inicia la red “B”.

Los ODF están equipados internamente con bandejas para el manejo de fusiones y accesorios de manejo de fibras. Además, pueden tener la flexibilidad de tener módulos de alineación de conectores de diferentes tipos según sea la necesidad.

Figura 21. **ODF de una unidad de rack con módulos de conexión SC/UPC**



Fuente: Intoptechk. *Slidable Rackmounted ODF*. <http://intoptechk.com/slidable-rack-mounted-odf-odf-sr13/>. Consulta: febrero de 2019.

3. NORMATIVAS PARA CABLEADOS DE TELECOMUNICACIONES DENTRO DE EDIFICIOS

Para toda instalación técnica de telecomunicaciones debe existir una normativa que regule la forma que se realizan los trabajos y los materiales y equipos por utilizar. El contar con regulaciones y estándares tiene los siguientes beneficios:

- Garantizar el desempeño de los materiales y equipos utilizados
- Garantizar la interoperatividad entre distintos fabricantes
- Estandarizar procesos para correcta operación y mantenimiento
- Garantizar seguridad para las personas

Los estándares y normativas son emitidos por entidades internacionales especializadas en diferentes campos. Estas entidades mantienen una continua revisión de las normativas, para adaptarse a los cambios tecnológicos y mejores prácticas observables a largo plazo. En algunos casos puede haber una normativa diferente para el mismo tipo de instalación, por ejemplo, en dos países o regiones que sean reglamentados por dos organizaciones diferentes.

Existe también el caso donde una sola instalación aplica dos o más normativas diferentes enfocadas en un aspecto específico de dicha instalación sin intervenir o excluir aspectos una de otra.

3.1. Normativas de cableado utilizadas en Guatemala

En Guatemala se carece de una entidad u organización pública o privada que haya establecido las normas que rijan la realización de cableados para servicios de telecomunicaciones dentro de edificios. Por eso, las empresas privadas y públicas tienen la libertad de criterio de elegir cumplir con alguna normativa internacional de acuerdo con su conveniencia.

Las empresas tecnológicas en Guatemala eligen utilizar como lineamientos las normativas utilizadas en Estados Unidos porque gran parte de la tecnología adoptada en Centro América provienen de este país. El cumplimiento de las normas es opcional y queda a criterio de cada empresa. Existen las excepciones donde una empresa por ser multinacional tiene una normativa que rige todas las instalaciones incluso en lugares como Guatemala donde no hay una obligación por parte del gobierno.

3.1.1. Normativas de referencia para instalaciones de telecomunicaciones

El uso de normativas en Guatemala es principalmente referencial y no como una obligación de cumplimiento. Respecto a las instalaciones de cableados para servicios de telecomunicaciones se tienen dos referencias importantes: la primera que garantice el desempeño deseado y la interoperatividad y la segunda que garantice la seguridad de los usuarios.

En el caso de las normativas estándar para la instalación y desempeño existe los estándar ANSI/TIA-568 este tiene varias modificaciones y adendas, las cuales van desde forma en que debe diseñarse el cableado estructurado y todo lo referente a infraestructura mecánica que debe soportar este cableado.

Se incluyen las prácticas de cómo debe medirse y que resultados son los esperados para garantizar la calidad de su operación.

En este trabajo se hace referencia a 5 estándares de ANSI/TIA los cuales garantizaran un diseño y planificación escalable y con un correcto desempeño para aplicaciones actuales y futuras. Estos estándares son:

- ANSI/TIA-568.1-D: Estándar para infraestructura de telecomunicaciones en edificios comerciales.
- ANSI/TIA-568.3-D: Estándar para cableados y componentes de fibra óptica.
- ANSI/TIA-568.0-D: Estándar para cableados de telecomunicaciones genéricos dentro de premisas del cliente.
- ANSI/TIA-569-E: Estándar para vías de cableados y espacios de telecomunicaciones para edificios comerciales.
- ANSI/TIA-598-D: Código de colores para fibra óptica.

En el caso de la normativa referente a seguridad se toma en cuenta el Código Eléctrico Nacional o NEC de Estados Unidos, el cual, aunque está enfocado a instalaciones eléctricas, como su nombre lo indica; ha desarrollado artículos específicos para la instalación de cableados y equipos de telecomunicaciones. En este caso la parte de seguridad regula los materiales de los cables, para prevenir la propagación de las llamas en caso de incendio, además del desprendimiento de toxinas en el humo.

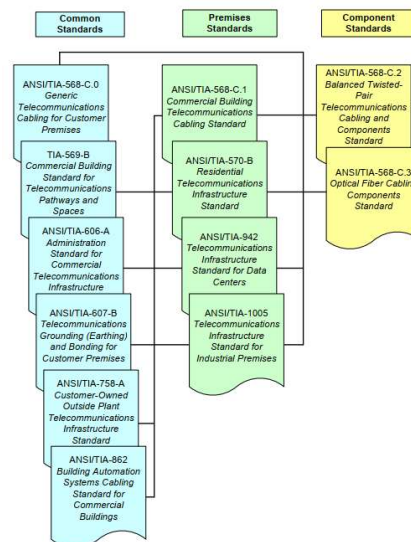
3.2. ANSI/TIA-568

Este estándar esta desarrollado en conjunto por dos entidades o comités: ANSI: *American National Standards Institute*, o instituto nacional de normas de

América (Estados Unidos), el cual como su nombre lo indica se enfoca en normar los estándares para productos, servicios y procesos, para Estados Unidos y su compatibilidad con estándares internacionales. La segunda organización involucrada es TIA: *Telecommunications Industry Association*, o Asociación de la industria de telecomunicaciones, la cual se dedica específicamente a estándares de telecomunicaciones teniendo 12 comités uno de los cuales, se especializa en cableado estructurado, sobre el cual se desarrolla el interés de este trabajo.

La primera versión de este estándar nace en 1991 como ANSI/TIA-568-A.1 y abarca en general los temas de cableado estructurado, desde la forma de instalación, desempeño, materiales y mediciones. Esta versión ya no es válida, ya que ha evolucionado en diferentes revisiones y estándares especializados, conforme los requerimientos tecnológicos.

Figura 22. **Relaciones de estándares ANSI/TIA para cableados de telecomunicaciones**



Fuente. Telecommunications Industry Association. *Commercial Building Telecommunications Infrastructure Standard TIA 568.1 Revision D*. p 12.

3.2.1. ANSI/TIA-568.1-D

Este estándar norma la forma de hacer cableado estructurado o la infraestructura para servicios de telecomunicaciones dentro de edificios comerciales. Tal como menciona en su introducción: *“Este estándar especifica un sistema de cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales, el cual soporta múltiples productos y múltiples fabricantes. Además, provee información que puede ser utilizada para diseñar productos de telecomunicaciones para empresas comerciales.”*

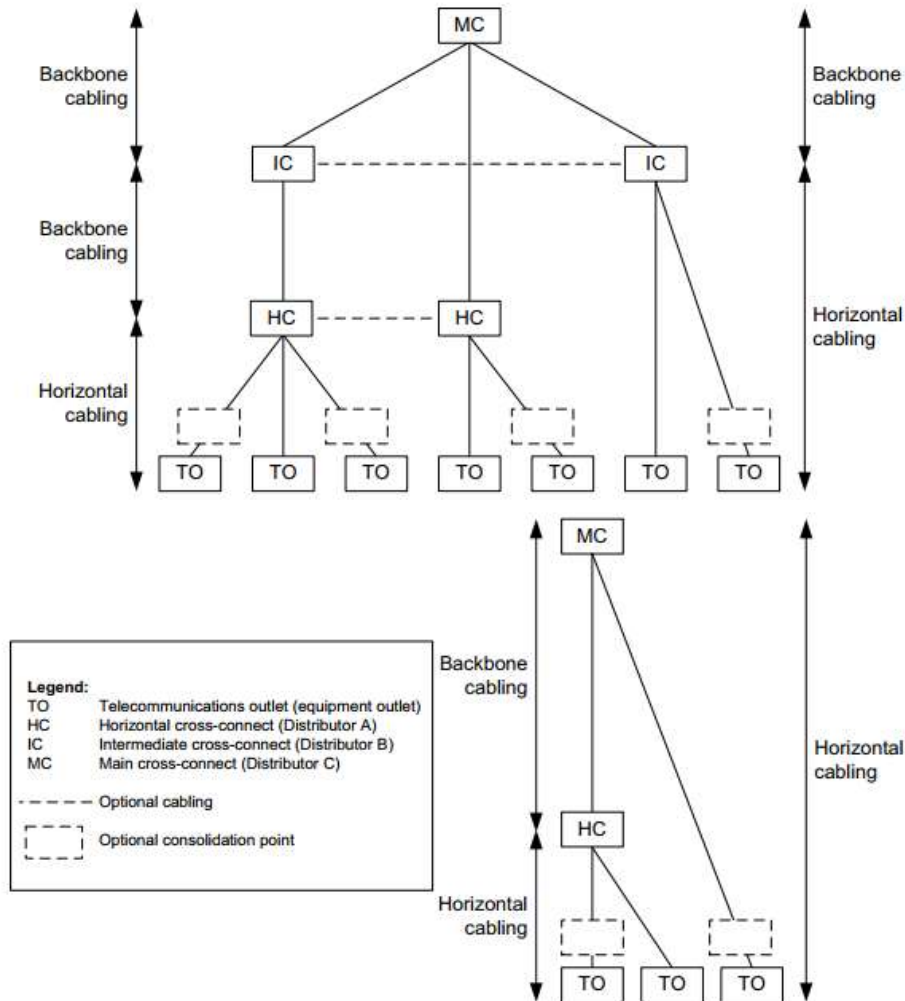
En este estándar se propone la planificación e instalación de cableado estructurado, aprovechando el periodo de construcción o remodelación de dicho edificio. Este estándar establece el desempeño y criterios técnicos de varias configuraciones de sistemas de cableado genérico, para soportar diversos servicios de telecomunicaciones tales, como datos, voz, video, entre otros.

Como punto de partida de este estándar se tiene una topología propuesta para cubrir cualquier tipo de edificios, esta topología está diseñada para tres cableados reconocidos:

- Pares de cobre trenzados balanceados de 100 Ohm, categoría 3, categoría 5e, categoría 6, categoría 6a y categoría 7.
- Fibra óptica multimodo optimizada para laser de 850 nm, se recomienda el uso de 50/125 μm .
- Fibra óptica monomodo.

En la figura 23 se representan ejemplos de topologías genéricas, de forma que puede tomarse como guía de los diferentes puntos que la componen y adecuarlos según el lugar donde se construya.

Figura 23. **Topologías genéricas jerárquicas en estrella para sistemas de cableado de un edificio comercial**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Commercial Building Telecommunications Infrastructure Standard TIA 568.1 Revision D*. p 13.

A continuación, se presentan las definiciones de los espacios o partes que componen la topología de cableado estructurado para edificios, se describen nombres, objetivos y funciones. Como se ha mencionado, el estándar es

genérico, por lo que se extraen los conceptos más relevantes para redes de fibra óptica monomodo, las cuales son el enfoque de este trabajo.

3.2.1.1. Cuarto de equipos

Definido como ER del inglés *Equipment Room*, contiene todos los equipos de telecomunicaciones de alta jerarquía, cierres de empalmes y unión a sistema de tierras para protección de equipos y personas. Desde la perspectiva del cableado, este es el punto de nacimiento de los cableados troncales o *Backbone* hacia cualquier punto intermedio del edificio.

En este cuarto puede contenerse la acometida definida como EF del inglés *Entrances Facility*, el cual es el punto donde se ingresa el cableado de planta externa del proveedor de servicios u operador de telecomunicaciones y define el punto de demarcación, el cual determina donde cambia las responsabilidades de operación. En este punto se debe conectar la protección eléctrica al sistema de tierra del edificio.

En este cuarto se encuentra el punto principal de interconexión o cros conexión. Las cros conexiones, representan un esquema de conexión entre dos sistemas de cableado, terminaciones, o equipos. Típicamente se realiza con cordones de parcheo conocidos como *patchcords* o *jumpers*, los cuales son tramos de cables fabricados un conector certificado en cada extremo.

3.2.1.2. Cuarto de telecomunicaciones y gabinetes de telecomunicaciones

Conocidos como TR y TE por su nombre en inglés *Telecommunications Room* y *Telecomuncations Enclosure*, respectivamente; estos son espacios de

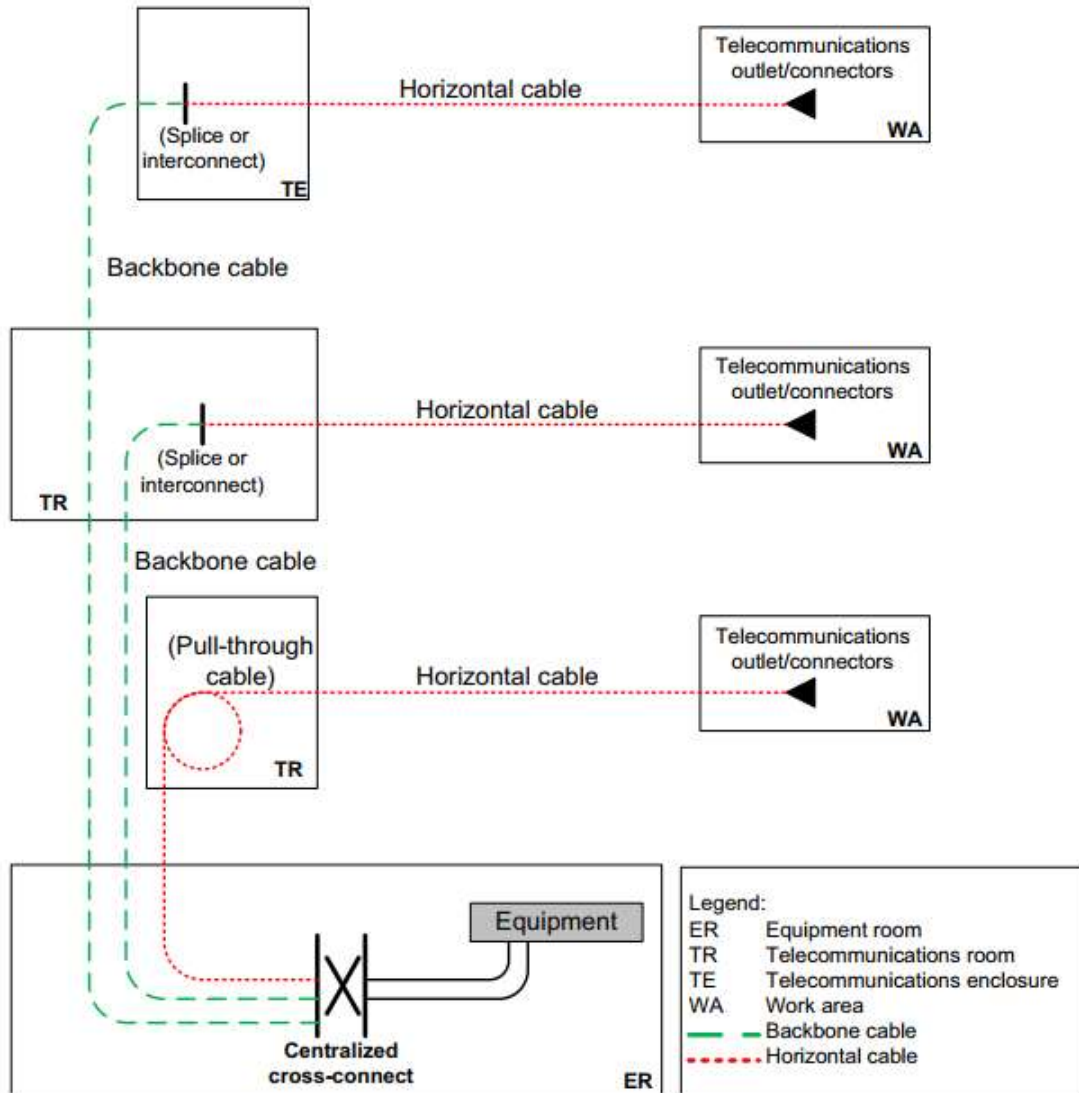
distribución a donde llega el cable troncal y se despende el cableado horizontal hacia cada uno de los espacios de trabajo. Los cuartos de telecomunicaciones deben típicamente colocarse en el nivel al que sirven y pueden cubrir un área de hasta 1 000 m². El uso de gabinetes o TE, se especifica para edificios donde no hay un área adecuada para construir un cuarto de telecomunicaciones o la arquitectura del edificio no lo permita.

Las cros conexiones e interconexiones que se den en estos cuartos o gabinetes son principalmente para distribuir el cableado troncal al horizontal. Estos sistemas de cableado deben ser terminados de tal forma que cumplan con los requerimientos de desempeño específico de las normas para fibra óptica.

En el caso específico del sistema de cableado de fibra óptica centralizado, se permite que, tanto en los cuartos de telecomunicaciones como en los gabinetes, la fibra óptica pueda ser terminada en conectores para su interconexión o fusionada para dar continuidad a la cros conexión principal. Además, se permite tramos de fibra óptica en reserva desde la cros conexión principal *pull-through*, el cual no debe exceder los 90 m.

La topología especificada para para el sistema de cableado de fibra óptica centralizado se muestra en la figura 24. Esta topología es la guía principal para diseño en el presente trabajo.

Figura 24. Topología para cableado de fibra óptica centralizado



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Commercial Building Telecommunications Infrastructure Standard TIA 568.1 Revision D*. p 10.

3.2.1.3. Cableado troncal

El cableado troncal o *Backbone* es el tramo que comprende la comunicación desde las acometidas EF al Cuarto de equipos ER y cuartos de telecomunicaciones y gabinetes de distribución TR/TE. Este cableado incluye las conexiones desde la cros conexión principal, hacia las cros conexiones intermedias o distribuciones de cableado horizontal, se consideran todos los componentes como cables, accesorios, *patchcords* y *jumpers*, entre cros conexiones.

El cableado troncal debe cumplir con los requerimientos de la topología en estrella jerárquica presentada en la figura 23 y no debe contener más de dos niveles de cros conexiones desde el cableado horizontal.

En el caso de la topología centralizada para cableado de fibra óptica se tienen como válidas las fusiones desde el cableado horizontal en los cuartos de telecomunicaciones y gabinetes de telecomunicaciones, en lugar de las interconexiones.

La longitud de los cables utilizados en la conexión troncal depende de la aplicación y arquitectura de los edificios, por lo que no esta normativa no lo restringe, sino se refiere a los parámetros de desempeño recomendados por los fabricantes, las únicas restricciones con las que se cuenta son:

- Los *patchcords* desde la cros conexión principal a la cros conexión intermedia no debe exceder los 20 m.
- Los *patchcords* utilizados para conectar equipos de telecomunicaciones hacia la cros conexión principal o intermedia, no debe exceder los 30 m.

3.2.1.4. Cableado horizontal

El cableado horizontal es el tramo que comprende la comunicación desde el cuarto de telecomunicaciones o gabinete de telecomunicaciones hasta la toma de telecomunicaciones en el área de trabajo o WA del inglés *Work Area*. Esto incluye las terminaciones, componentes de conexión y *patchcords*. Las vías de cableado y espacios designados para este deben cumplir con los requerimientos de la normativa ANSI/TIA-569-E.

En cada área de trabajo debe proveerse con un mínimo de dos enlaces permanentes. Este cableado debe ser planeado de forma que pueda soportar requerimientos futuros de los equipos que se conectaran a este, soportar diversas aplicaciones, mantenimientos y posibles reubicaciones.

Los cableados de fibra óptica deben terminar con un conector tipo duplex que cumpla con los requerimientos del estándar ANSI/TIA-568.3-D.

El enlace permanente se define como el cableado desde el cuarto del TR/TE hacia la toma de telecomunicaciones en el área de trabajo, sin tomar en cuenta los *patchcords* utilizados para conectar los equipos terminales de telecomunicaciones. Los tipos de cables reconocido para el cableado horizontal son:

- Pares de cobre trenzados balanceados de 100 Ohm, categoría 3, categoría 5e, categoría 6, categoría 6a y categoría 7.
- Fibra óptica multimodo optimizada para laser de 850 nm, se recomienda el uso de 50/125 μm , de al menos 2 hilos.
- Fibra óptica monomodo, de al menos dos hilos.

El cable de la fibra óptica debe ser de dos hilos o más, debido a los dos enlaces permanentes que se mencionan anteriormente.

3.2.2. ANSI/TIA-568.3-D

Este es el estándar para cableados y componentes de fibra óptica, tiene como propósito especificar los requisitos de desempeño de los componentes de un sistema de cableado de fibra óptica dentro de un edificio o premisas de cliente. Los componentes que se toman en cuenta en este estándar incluyen: cables, conectores, materiales de conexión y *patchcords*.

Los métodos y procedimientos de medición de desempeño no se describen dentro de este estándar, pero se hace una lista de referencia conocida como FOTP por las siglas en inglés: *Fiber Optic Test Procedures*.

3.2.2.1. Cable de fibra óptica

Cada hilo de fibra debe tener un desempeño mínimo de transmisión según la tabla III. La cual muestra la atenuación por tipo de fibra óptica en su respectiva ventana de transmisión.

Los cables de fibra óptica deben contener al menos 1 hilo de los tipos descritos en la tabla III. Cada uno de estos hilos o grupos de hilos deben ser identificables de acuerdo con el código de colores propuesto por el estándar ANSI/TIA-598-D.

Tabla III. **Parámetros de desempeño de transmisión de fibras ópticas**

Optical fiber and cable type ²	Wavelength (nm)	Maximum attenuation (dB/km)	Minimum overfilled modal bandwidth-length product (MHz-km) ¹	Minimum effective modal bandwidth-length product (MHz-km) ¹
62.5/125 μm Multimode TIA 492AAAA (OM1)	850	3.5	200	Not Required
	1300	1.5	500	Not Required
50/125 μm Multimode TIA 492AAAB (OM2)	850	3.5	500	Not Required
	1300	1.5	500	Not Required
850 nm Laser-Optimized 50/125 μm Multimode TIA 492AAAC (OM3)	850	3.5	1500	2000
	1300	1.5	500	Not Required
Single-mode Indoor-Outdoor TIA 492CAAA (OS1) TIA 492CAAB (OS2) ³	1310	0.5	N/A	N/A
	1550	0.5	N/A	N/A
Single-mode Inside Plant TIA 492CAAA (OS1) TIA 492CAAB (OS2) ³	1310	1.0	N/A	N/A
	1550	1.0	N/A	N/A
Single-mode Outside Plant TIA 492CAAA (OS1) TIA 492CAAB (OS2) ³	1310	0.5	N/A	N/A
	1550	0.5	N/A	N/A

Fuente: Telecommunications Industry Association. *Optical fiber cabling and components standard TIA 568.3 Revision D*. p. 06.

Los cables de doble propósito para interior o exterior deben cumplir con un mínimo de resistencia a la tensión de halado de 2670 N para cables que contengan más de 12 hilos de fibra; la resistencia para cables de hasta 12 hilos de fibra, la resistencia a la tensión de halado debe ser 1335 N. Otro factor que deben soportar los cables es el radio de curvatura el cual deberá ser de 10 veces el diámetro del interior de cable y de 20 veces cuando este sujeto a tensión.

Los cables de abonado o tipo *drop* deben tener un mínimo de resistencia a la tensión de halado de 1335 N y 440 N cuando son enterrados. El radio de curvatura mínimo, cuando no está sujeto a tensión debe ser 10 veces el diámetro exterior y 20 veces cuando hay tensión. En el caso de los cables no circulares, se utiliza el eje menor de exterior, como el radio preferido a curvarse.

3.2.2.2. Soporte físico para conexión

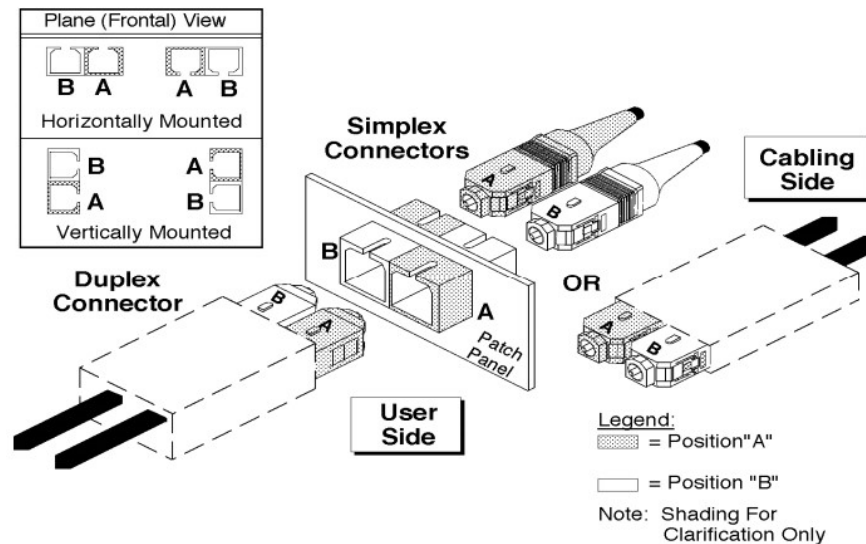
El soporte físico de conexión se refiere a los conectores y adaptadores utilizados para alinearlos y ordenarlos, también abarca los empalmes físicos o fusiones utilizados tanto en la distribución como en la terminación. Los conectores deben cumplir los requerimientos de los comités de FOCIS *Fiber Optic Conector Intermateability Standards*; por ejemplo, el conector y adaptador 568SC deben cumplir con los requerimientos de TIA-604-3, el cual, para fibra monomodo esta designado como: FOCIS 3P-0-2-1-1-0.

Los conectores dobles o *duplex* y sus respectivos adaptadores deben identificarse con “posición A” y “posición B”. En la figura 25 se muestra como ejemplo un conector *duplex* 568SC en el cual se hace un cruce para mantener la continuidad de la posición A y la posición B. se muestra las posibles posiciones horizontales y verticales para hacer esta conexión.

Los parámetros de desempeño para los conectores son:

- Pérdida de inserción, un máximo de 0,75 dB.
- Pérdida de retorno, un máximo de 20 dB para fibra multimodo y 26 dB para fibra monomodo.

Figura 25. Configuración de posiciones A y B en un conector duplex



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Optical fiber cabling and components standard TIA 568.3 Revision D*. p. 09.

Se tiene un código de colores para identificación de los conectores y adaptadores de acuerdo con el tipo de fibra y aplicación, los cuales son:

- Fibra multimodo optimizada para laser 850 nm 50/125 μm - aqua
- Fibra multimodo 50/125 μm - negro
- Fibra multimodo 65,5/125 μm - beige
- Fibra monomodo – azul
- Fibra monomodo con férula de contacto con corte angulado APC - verde

El desempeño de los empalmes de la fibra óptica se mide por dos parámetros. Estos parámetros aplican indistintamente si el empalme es mecánico o por medio de fusión.

- Pérdida de inserción, un máximo de 0,3 dB.
- Pérdida de retorno, un máximo de 20 dB para fibra multimodo y 26 dB para fibra monomodo.

3.2.2.3. Cajas para terminación de cableados

Las cajas para terminación de cableado son utilizadas para empalmar cables y acomodar conectores y adaptadores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Unir las fibras utilizando conectores, reutilizables o fusiones, los cuales deben cumplir con los parámetros descritos en la sección anterior.
- Identificar cada unión en una posición única.
- Permitir el reemplazo de conexiones.
- Permitir el manejo de fibras no conectadas.
- Permitir la instalación en instalaciones estándar como racks o gabinetes. y espacios adecuados para áreas de trabajo.
- Mantener el radio de curvatura recomendado por el fabricante del cable de fibra óptica.

Las cajas utilizadas para tomas de telecomunicaciones deben garantizar un radio de curvatura mínimo de 25 mm para al menos 2 fibras.

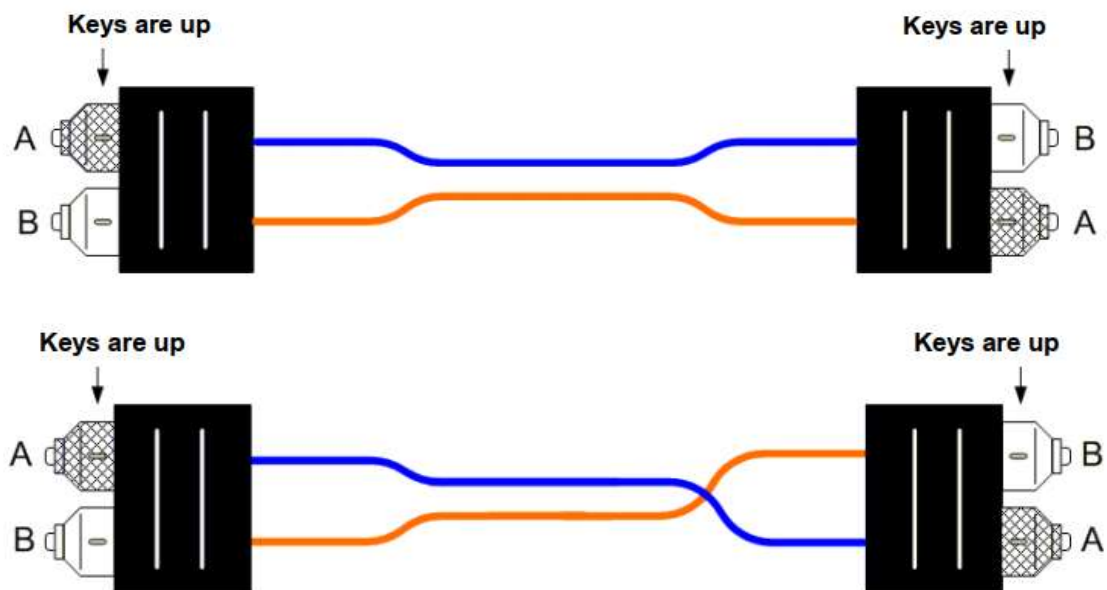
3.2.2.4. Patchcords

Los *patchcords* de fibra óptica se usan para conectar los diferentes sistemas de cableado en las cros conexiones, interconexiones y equipos de telecomunicaciones. El *patchcord* debe contener el mismo número de fibras que de conectores por utilizar, por ejemplo, un conector *duplex*, debe contener

2 hilos de fibra. El cable debe estar construido para interior y los conectores deben cumplir con los parámetros descritos en la sección 3.2.2.2.

Los *patchcords* tipo *duplex*, deben cumplir con polaridades de las posiciones A y B. Los *patchcords* A-B, deben orientarse de tal forma donde la posición A de un lado, conecte a la posición B en el otro lado y los *patchcords* A-A, deben orientarse de tal forma donde la posición A de un lado conecte a la posición A del otro extremo. En la figura 26 se muestran las configuraciones descritas como A-B y A-B.

Figura 26. Patchcords duplex en configuraciones A-A y A-B



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Optical fiber cabling and components standard TIA 568.3 Revision D*. p. 12.

3.2.3. ANSI/TIA 569-E

Este estándar desarrolla los temas referentes a las vías de cableado y espacios para telecomunicaciones dentro de un edificio comercial. Este estándar toma en cuenta que tanto los servicios de telecomunicaciones como los edificios son dinámicos, por lo cual puede existir cambios en el tipo de equipos, medio de transmisión y espacios donde se requieren los servicios; por lo tanto, no está enfocado en una tecnología o fabricante en específico, sino en los espacios generales requeridos dentro de los edificios.

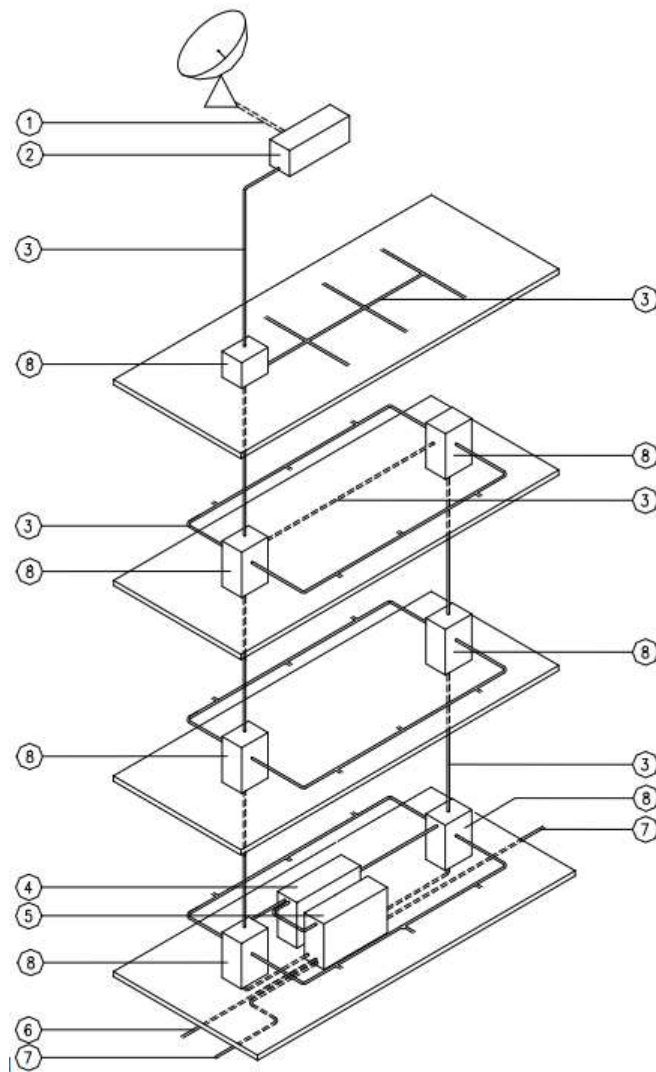
Este estándar considera dos tipos de edificios: cuando es de un solo dueño y es el responsable de diseñar, administrar y mantener la operación y cuando el edificio es de múltiples inquilinos y cada uno presenta una necesidad específica de telecomunicaciones hacia su oficina o espacio de trabajo. Este último interesa a la investigación y se deben tomar en cuenta las siguientes variables:

- Las vías de cableados desde el punto de entrada común al edificio hacia cada una de las oficinas son de uso común.
- El dinamismo o rotación de inquilinos y necesidad de evolución de los servicios es mucho mayor a un edificio con un único dueño.
- El dinamismo de los cambios requeridos por los inquilinos puede llevar a hacer cambios en la arquitectura y por tanto a afectar los espacios designados a telecomunicaciones.

En la figura 27 se ilustra la relación entre las principales vías de cableado y los espacios de telecomunicaciones dentro de un edificio, cada uno de los elementos numerados se describen en este estándar. La figura está desarrollada de tal forma que describe los elementos que comprenden un

edificio de múltiples inquilinos y aunque no es una estructura cerrada, muestra la interacción de todos los elementos para crear un solo sistema.

Figura 27. **Sistema de vías de cableado y espacios de telecomunicaciones en un edificio con múltiples inquilinos**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces*
TIA 569 Revision E. p. XVI.

A continuación, se describen los elementos de la figura 27.

- 1 Vía de acometida de servicio de telecomunicaciones inalámbrico.
- 2 Cuarto de acometida.
- 3. Vías de cableado comunes del edificio.
- 4. Espacio para proveedor de servicio o proveedor de telecomunicaciones.
- 5. Cuarto de acometida.
- 6. Vía de acometida de servicio de telecomunicaciones principal.
- 7. Vía de acometida alternativa o redundancia.
- 8. Cuarto común de distribución.

3.2.3.2. Espacios dentro de los edificios

Los espacios de telecomunicaciones incluyen variedades de cuartos y ubicaciones utilizadas para interactuar con los equipos de telecomunicaciones. Además, se usan para la colocación, terminación e interconexión de cableados de telecomunicaciones. Los requisitos generales aplicación para los siguientes espacios según la distribución de la figura 27:

- Cuarto de distribución
- Cuarto común de distribución
- Cuarto de acometidas
- Espacio para proveedor de servicios

3.2.3.2.1. Requisitos generales

Estos cuartos deben estar en áreas donde no haya componentes del edificio, como elevadores, muros de carga, muros exteriores o ventanas. El

ingreso a este cuarto debe ser accesible, por ejemplo, debe estar en un pasillo común, aun así, el ingreso debe restringirse a personal no autorizado. Para acceso de cableados se dejan mangas o boquetes por los cuales ingresan tubos o bandejas con los cableados. Estas mangas y boquetes deben contar con material retardante de llamas en caso de incendios.

La altura mínima de espacio libre debe ser 2,4 m. La altura mínima entre el piso terminado y el punto más bajo del techo debe ser 3 m para acomodar tubos o bandejas para cableado por sobre los *racks* o gabinetes de equipos. No se recomienda el uso de cielo falso dentro de los cuartos de telecomunicaciones. Las paredes, el piso y el techo debe ser tratados de tal forma de minimizar el desprendimiento de partículas de polvo y debe ser un color claro de tal forma que maximice la reflexión de la luz.

La iluminación mínima debe ser de 500 lux en el plano horizontal y 200 en el plano vertical, esto medido a una altura de 1m sobre el piso terminado en medio de los pasillos de gabinetes y *racks*. La iluminación debe ser controlada por uno o más apagadores ubicados en el interior del cuarto cercanos a las puertas de ingreso. La iluminación no debe ser conectada al mismo circuito eléctrico que los equipos de telecomunicaciones y tomacorrientes de servicios.

Todo material o equipo que no está destinado a soportar el sistema de telecomunicaciones, no debe pasar por este cuarto, esto puede incluir: tubería hidráulica, tubería de sistemas neumáticos, paso de sistemas eléctricos. En el caso que exista riesgo de ingreso de agua, el cuarto debe contar con una rejilla de piso con protección de retorno, para absorber el agua que pueda ingresar.

Los requisitos de humedad y temperatura dentro del cuartos están dados por la asociación americana de ingenieros dedicados a calefacción, aire

acondicionado y refrigeración: ASHARE por las siglas en inglés *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

Tabla IV. **Requisitos de humedad y temperatura para espacios de telecomunicaciones**

ASHRAE Class	SPACE (see clause)	Environmental requirements
Class B	Distributor room (6.4) Distributor enclosure (6.6) Entrance room or space (6.5) Access provider space (7) Service provider space (7) Common distributor room (8.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature: 5 – 35 °C (41 – 95 °F) dry bulb <ul style="list-style-type: none"> ○ High altitude: reduce maximum dry-bulb temperature 1 °C (1.8 °F) for every 300 m (1000 ft) above 900 m (3000 ft) altitude. ○ Diskettes: minimum temperature with diskette in a drive is 10 °C (50 °F). • Relative humidity (RH): 8 – 80% • Maximum dew point: 28 °C (82 °F)

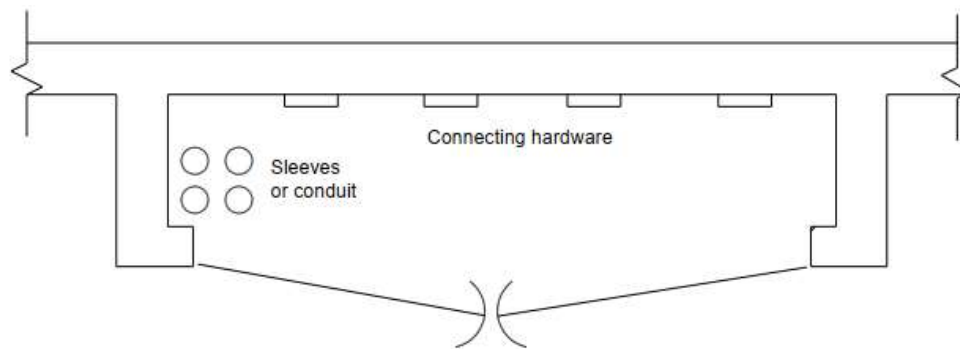
Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces TIA 569 Revision E.* p. 14.

3.2.3.2.2. Cuartos de distribución

Estos cuartos son un punto de acceso común a los subsistemas de cableado y a las vías de cableado del edificio, este cuarto debe tener la capacidad de contener equipo de telecomunicaciones y cros conexiones asociadas a este. El cuarto de distribución no debe compartirse con ningún otro sistema que no esté destinado a soportar la red de telecomunicaciones o servirse de esta. Este cuarto debe estar ubicado lo más cercano al centro del área a la que entregara servicio. Se recomienda que las dimensiones del cuarto sean de al menos 10 m² para poder servir un máximo de 200 tomas de telecomunicaciones o áreas de servicios mayores a 500 m². Este cuarto debe cumplir con los requisitos de aterramiento según ANSI/TIA-607-B.

En algunos edificios, el área para la construcción de cuartos es limitada, por lo que, aunque no se recomienda, se reconoce el uso de cuartos superficiales, los cuales deben contar con una profundidad mínima de 600 mm y una longitud mínima de 2,6 m. la distribución típica de un cuarto superficial se muestra en la figura 28.

Figura 28. **Cuarto de distribución superficial**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces*
TIA 569 Revision E. p. 24.

3.2.3.2.3. Espacios o cuartos de acometida

El espacio designado como cuarto de acometida debe cumplir con los requisitos generales de espacios de telecomunicaciones dentro de los edificios, adicionalmente debe tomarse en cuenta que debe ubicarse en un área seca y sin riesgo de inundación. Debe estar lo más cerca posible al espacio que contiene el tablero de distribución eléctrica principal para reducir la longitud de conductor que conecte a la tierra física. En el caso de las acometidas de servicios inalámbricos debe considerarse que el cuarto este ubicado lo más cercano posible al dispositivo de recepción de dicha señal inalámbrica. La

decisión de si el espacio es considerado un cuarto cerrado o abierto debe ser basado en la seguridad, tipo de protecciones eléctricas y la ubicación dentro del edificio.

Debe tomarse en cuenta que las acometidas de operadores de servicios deben llegar al cuarto principal de equipos por lo cual se deben cumplir los requerimientos de vías de cableado y seguridad que llegaran a dicho cuarto. Para estimar los espacios necesarios para los ductos que servirán como vías de cableado desde la acometida se debe tomar en cuenta:

- Cantidad de cables que ingresan, uno o varios proveedores de servicios
- Protecciones para cables
- Cables que puedan ingresar de otro edificio en caso de campus

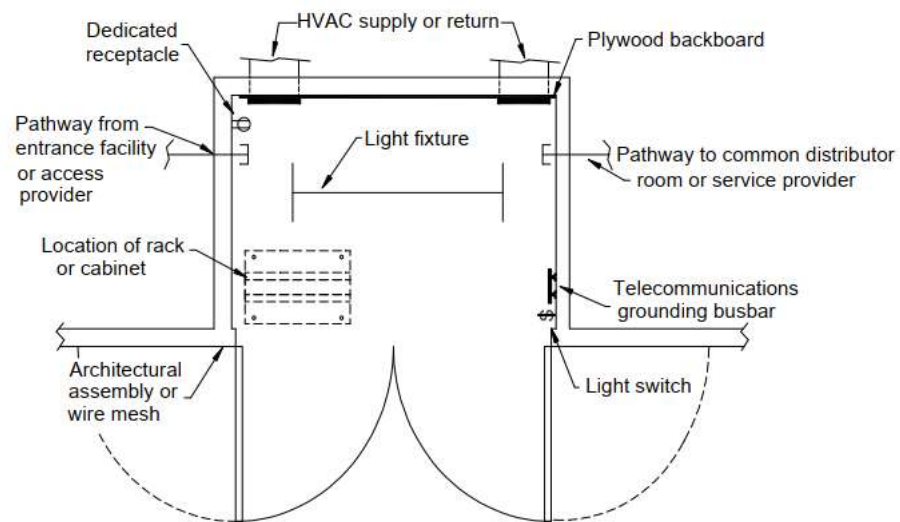
Es importante tomar en cuenta la protección eléctrica para la acometida, para evitar descargas eléctricas provenientes de la planta externa de los proveedores de servicios. Los requisitos de protección eléctrica, diseño y conexión al sistema de tierra puede consultarse en la normativa ANSI/TIA-607-B.

3.2.3.3. Espacios para proveedores de servicios

Los espacios para proveedores de servicios se usan para colocar los equipos transmisión, recepción y cualquier soporte adicional para prestar los servicios de telecomunicaciones. En la figura 29 se muestra un espacio recomendado para un solo proveedor de servicios, este se recomienda cuente con un área de 1,5 m x 2 m. Este espacio puede variar de acuerdo con la cantidad de equipos que necesite colocar el proveedor de servicios. en el caso de un espacio donde se deba compartir con múltiples operadores se

recomienda limitar los espacios individuales con malla o algún otro elemento de arquitectura que cumpla con los requisitos generales descritos al inicio de esta sección.

Figura 29. **Ejemplo de espacio para designado para proveedor de servicio**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces*
TIA 569 Revision E. p. 32.

Los requisitos de energía que cada proveedor de servicios debe cumplir al entrar en operación no se describen porque varían de acuerdo con el tipo de equipos utilizados para prestar servicios. En este caso el mínimo recomendado por espacio de proveedor de servicio es un tomacorriente doble 120 Vac de un circuito dedicado de 20 A

3.2.3.4. Espacios para edificios de múltiples inquilinos

En el caso de los edificios de múltiples inquilinos, se requiere que se puedan servir varios servicios de varios proveedores desde una distribución que este en la parte común del edificio. Estos cuartos se conocen como cuartos comunes de distribución y deben cumplir con todos los requisitos de área, iluminación, temperatura y electricidad que se han mencionado en las secciones anteriores.

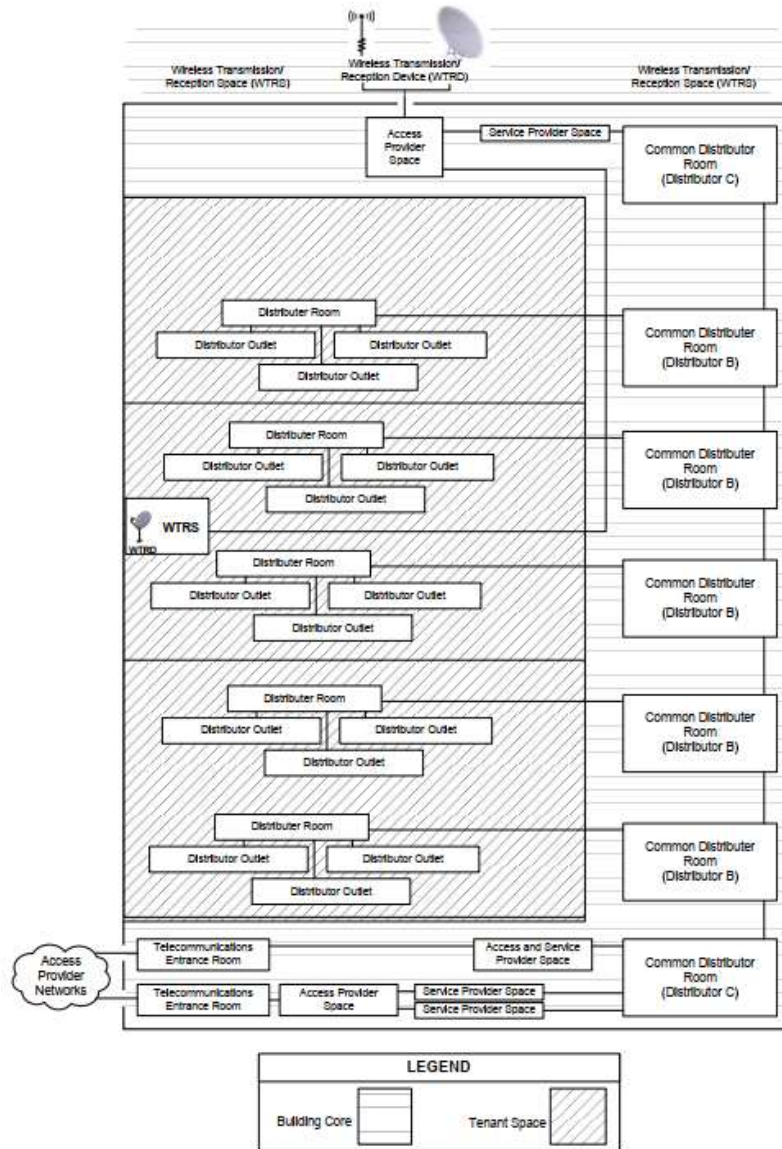
Se debe tomar en cuenta para dimensionar las perforaciones necesarias que debe acomodar cada cuarto tomando en cuenta:

- Infraestructura de cableado compartido por múltiples inquilinos
- Infraestructura de cableado intraedificio
- Infraestructura de cableado interedificio
- Infraestructura de cableado para *bypass*

Los cableados de *bypass* se utilizan en el caso de que algún inquilino tenga requisitos especiales de conectividad donde no pueda compartir infraestructura común del edificio. Se debe tener cuidado dimensionando y permitiendo el uso de *bypass*, ya que esto puede saturar las vías previstas para cableado común del edificio.

En los edificios verticales se prefiere que estos cuartos estén alineados verticalmente y centrado al área donde proveerá servicios. Se ejemplifica el uso de cuartos comunes de distribución en la figura 30.

Figura 30. **Ejemplo de vías de cableado y espacios de telecomunicaciones para un edificio de múltiples inquilinos**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces*
TIA 569 Revision E. p. 35.

3.2.3.5. Vías de cableado en el edificio

Estas canalizaciones deben terminar en cuartos de telecomunicaciones o gabinetes de telecomunicaciones, utilizados para distribuir servicios. Los cuartos de distribución deben tener canalizaciones del mismo tamaño tanto para ingreso como para salida de los cables.

Las vías de cableado horizontal pueden hacerse tanto de forma aérea o por piso. Las canalizaciones por vía aérea pueden hacerse directamente expuesta en losa u oculta dentro de cielo falso, siempre garantizando el acceso cómodo para mantenimiento y tomando en cuenta las recomendaciones de materiales cuando estas áreas son retornos de aire.

El piso elevado se usa en los centros de datos. Cuenta con una estructura prefabricada de soportes y tabletas de piso para dar paso a canalizaciones de telecomunicaciones o energía. Deben quedar fuera del alcance para evitar que se les cause daño. Existe también las canalizaciones directamente fundidas dentro del piso, las cuales tienen un sistema de registros para hacer las entradas, salidas, cruces o derivaciones.

3.2.3.6. Separación de fuentes de inducción electromagnética

La instalación conjunta de cableados de telecomunicaciones y cableado eléctrico está gobernado por las recomendaciones del código eléctrico NEC o NFPA 70. Más adelante se desarrollará en este capítulo donde se indican diversas recomendaciones según el tipo de circuito eléctrico que comparte la ruta de cableado. Cabe mencionar que, aunque la fibra óptica no es afectada

por la inducción electromagnética se recomienda seguir las normativas principalmente por seguridad.

3.2.3.7. Canaletas como vías de cableado

El uso de canaletas es común para vías de cableado troncal y en recorridos verticales. Las dimensiones de estas canaletas corresponden a un llenado máximo inicial del 25 % de su capacidad. Esta capacidad está determinada por el área de su sección transversal. En general se debe prever que el máximo de relación de llenado de una canaleta debe ser el 50 % y que la mayor profundidad de una canaleta para telecomunicaciones debe ser 150 mm.

Figura 31. Canaleta con cableado calculado al 50 % de su capacidad



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces*
TIA 569 Revision E. p. 46.

La figura 31 muestra una canaleta con la cantidad de cables calculados al 50 % de llenado de la sección de la canaleta. Se debe tomar en cuenta que se observa llena, por el espacio que existe entre los cables y su posicionamiento aleatorio, el cual puede influir en mayores espacios vacíos.

3.2.3.8. Uso de tubería Conduit

El uso de tubería Conduit para telecomunicaciones es considerado en los siguientes casos:

- Es requerido por normas
- Las salidas o tomas de telecomunicaciones son permanentes
- La densidad de dispositivos es baja
- Se requiere alguna protección mecánica especial

No se recomienda usar tubos flexibles y, si se utilizan, no deben sobrepasar 6 m en cada tramo.

Ninguna sección de tubo Conduit debe superar los 30 m entre dos cajas de registro o puntos de halado de cable. Ninguna sección de tubo Conduit debe tener más de dos curvas de 90 grados entre o su equivalente entre cajas de registro o puntos de halado de cable. En caso de que se requiera una vuelta de retorno o una curva de 180 grados, se debe instalar una caja de registro.

Se deben usar cajas de registro o halado en los siguientes casos:

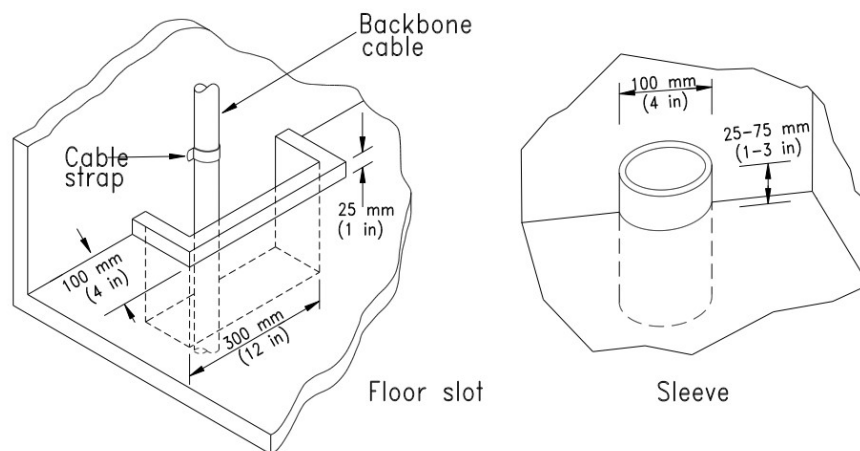
- Cuando la sección de tubo Conduit alcanza los 30 m.
- Para terminar el recorrido de la sección de tubo.
- Cuando existen más de dos curvas de 90 grados o su equivalente.
- Para halar el cable de una sección y posteriormente ingresarlo a la siguiente.

3.2.3.9. Vías de cableado verticales

Para el cableado en troncales verticales, deben realizarse perforaciones con un equivalente a cinco tubos Conduit designación 103 (4 pulgadas), para cubrir un área de 4 000 m² por cada nivel. Esto es un mínimo dictado por la normativa, pero puede tenerse espacios de perforación más grande, para permitir el mejor manejo de cables si no hay restricciones arquitectónicas.

El caso ideal es tener la continuidad de perforaciones alineadas, de forma vertical desde el sótano más bajo, hasta el nivel más alto del edificio. Debido a que las losas son elementos de carga estructural, la ubicación y tamaño de las perforaciones en esta deben ser aprobadas por el ingeniero estructural del edificio. En la figura 32 se muestra un ejemplo típico de uso de mangas o perforaciones para el paso de cables de telecomunicaciones.

Figura 32. **Diseño típico de mangas y perforaciones en losas para vías de cableado verticales entre niveles**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Telecommunications pathways and spaces*

TIA 569 Revision E. p. 61.

3.2.4. ANSI/TIA 598-D

Este estándar especifica la codificación de colores para las chaquetas de cables de fibra óptica, según su desempeño y aplicación, además de cómo llevar un orden adecuado en los cables que contienen varios hilos. Aunque los cables de fibra principalmente para exterior están cubiertos con chaquetas color negro, para soportar las condiciones ambientales, en su interior los hilos deben ser distinguibles e identificables para utilizarse como parte de un sistema ordenado.

Este estándar cuenta también con una codificación para los cables y accesorios de uso en interior.

3.2.4.1. Fibras individuales y unidades de fibras

Cada hilo de fibra óptica debe distinguirse de manera individual de forma única y según la codificación definida en la tabla V. Esta tabla contiene dos opciones, un color o un código que puede ser numérico, la abreviación del color, o una combinación de ambos. La identificación puede ser por colores, por leyenda impresa o por ambos, con el propósito de cumplir la identificación única.

Las unidades de fibra óptica se refieren a agrupaciones de hilos de fibra individuales principalmente pero no limitado en *buffers*. Cuando se agrupa una cantidad de hilos de fibra individuales, típicamente en 6, 12, 18 y 24; forman una unidad, esta debe identificarse de forma única de acuerdo con las alternativas definidas en la tabla V.

Tabla V. **Código de colores para fibras individuales y unidades de fibras**

Position #	Base color/tracer per TIA/EIA	Abbreviation/print legend
1	Blue	1 or BL or 1-BL
2	Orange	2 or OR or 2-OR
3	Green	3 or GR or 3-GR
4	Brown	4 or BR or 4-BR
5	Slate	5 or SL or 5-SL
6	White	6 or WH or 6-WH
7	Red	7 or RD or 7-RD
8	Black	8 or BK or 8-BK
9	Yellow	9 or YL or 9-YL
10	Violet	10 or VI or 10-VI
11	Rose	11 or RS or 11-RS
12	Aqua	12 or AQ or 12-AQ
13	Blue with Black Tracer	13 or D/BL or 13-D/BL ²⁾
14	Orange with Black Tracer	14 or D/OR or 14-D/OR
15	Green with Black Tracer	15 or D/GR or 15-D/GR
16	Brown with Black Tracer	16 or D/BR or 16-D/BR
17	Slate with Black Tracer	17 or D/SL or 17-D/SL
18	White with Black Tracer	18 or D/WH or 18-D/WH
19	Red with Black Tracer	19 or D/RD or 19-D/RD
20	Black with White Tracer ¹⁾	20 or D/BK or 20-D/BK
21	Yellow with Black Tracer	21 or D/YL or 21-D/YL
22	Violet with Black Tracer	22 or D/VI or 22-D/VI
23	Rose with Black Tracer	23 or D/RS or 23-D/RS
24	Aqua with Black Tracer	24 or D/AQ or 24-D/AQ
25	Blue with Double Black Tracer ³⁾	25 or DD/BL or 25-DD/BL ²⁾
26	Orange with Double Black Tracer	26 or DD/OR or 26-DD/OR
27	Green with Double Black Tracer	27 or DD/GR or 27-DD/GR
28	Brown with Double Black Tracer	28 or DD/BR or 28-DD/BR
29	Slate with Double Black Tracer	29 or DD/SL or 29-DD/SL
30	White with Double Black Tracer	30 or DD/WH or 30-DD/WH
31	Red with Double Black Tracer	31 or DD/RD or 31-DD/RD
32	Black with Double White Tracer ¹⁾	32 or DD/BK or 32-DD/BK
33	Yellow with Double Black Tracer	33 or DD/YL or 33-DD/YL
34	Violet with Double Black Tracer	34 or DD/VI or 34-DD/VI
35	Rose with Double Black Tracer	35 or DD/RS or 35-DD/RS
36	Aqua with Double Black Tracer	36 or DD/AQ or 36-DD/AQ

Fuente: Telecommunications Industry Association. *Optical fiber cable color coding TIA 568.3*
Revision D. p. 4.

3.2.4.2. Código de colores para cables de fibra óptica de interiores

Los cables con las chaquetas de colores para interiores, incluidos los cables para interconexión, como *patchrods* y cables tipo *Breakout*, deben identificarse según su aplicación o tipo de cable. Para esto se siguen los parámetros de la tabla VI.

Tabla VI. Código de colores para chaquetas de cables de interiores

Fiber type	Jacket color ¹⁾		
	Non-military Applications ³⁾	Military Applications	Print Nomenclature
Multimode (62.5/125) (TIA-492AAAA)	Orange	Slate	OM1
Multimode (50/125) (TIA-492AAAB)	Orange	Orange	OM2
Multimode (50/125) (850 nm laser-optimized) (TIA-492AAAC and TIA-492AAAD)	Aqua	---	OM3 (for TIA-492AAAC) OM4 (for TIA-492AAAD)
Multimode (100/140)	Orange	Green	100/140
Single-mode (TIA-492CAAA and TIA-492CAAB)	Yellow	Yellow	OS1 (for TIA-492CAAA) OS2 (for TIA-492CAAB)
Polarization Maintaining Single-mode	Blue	---	Undefined ²⁾

Fuente: Telecommunications Industry Association. *Optical fiber cable color coding TIA 568.3 Revision D*. p. 7.

Cabe mencionar que los cables con varios hilos de fibra conteniendo debe indicar en la chaqueta el tipo de fibras que contienen en su interior; adicionalmente estas, deben seguir el código para la identificación individual descritos en la tabla V.

3.2.5. ANSI/TIA 568.0-D

Este es el estándar para cableados de telecomunicaciones genéricos dentro de premisas del cliente. Este estándar define varios puntos que se han tocado en secciones anteriores, debido a la interrelación entre estándares, entre algunos puntos se puede mencionar: la topología de una red de forma genérica y específica para a un edificio y los valores de desempeño para los componentes de fibra óptica.

Esta sección se enfoca en los parámetros de medición para garantizar el correcto funcionamiento de la fibra óptica a largo plazo.

3.2.5.1. Generalidades para la medición

La atenuación de un enlace de fibra óptica, o la pérdida de potencia entre dos puntos es el resultado de los efectos del tipo de cable, su longitud, su condición, la calidad y cantidad de empalmes o fusiones, la cantidad y calidad de conectores y finalmente la longitud de onda utilizada.

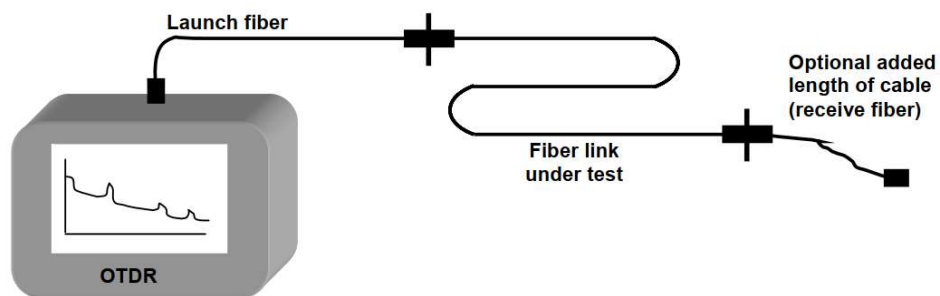
Existen tres métodos o herramientas para medir la calidad de la fibra óptica instalada estos son OLTS, VFL y OTDR. Aunque se proponen varios métodos de medición el más utilizado y con mayor fiabilidad es la medición con OTDR cuyas siglas responden a nombre en inglés *Optical Time Domain Reflectometer*, este aparato envía pulsos de luz a través del hilo de fibra óptica bajo prueba e interpreta la luz reflejada, para determinar la atenuación por los eventos como distancia, fusiones, conectores, dobleces, entre otros.

3.2.5.2. Medición con OTDR

El OTDR utiliza en su proceso de medición varias pruebas y las presenta como una traza, una gráfica que debe interpretarse en dos ejes: el vertical indica la potencia relativa y el eje horizontal la distancia. La traza de OTDR puede identificar la longitud de la fibra y los eventos que causen pérdidas, tales como conectores, empalmes y dobleces.

Para hacer una medición con OTDR se debe utilizar un tramo de fibra óptica inicial llamada comúnmente fibra de lanzamiento o *Launch fiber*. La fibra de lanzamiento permite al receptor en el OTDR recuperarse de la sobrecarga causada por la reflexión del primer conector, adicionalmente, permite visualizar el primer evento de pérdida de inserción en el primer conector de la fibra bajo prueba. La longitud de la fibra de lanzamiento debe ser especificada por el fabricante del OTDR, en caso de que se desconozca, una longitud de 300 m es aceptable para fibra monomodo. Adicionalmente, es posible utilizar un tramo de fibra final, para medir el ultimo conector, este tramo adicional es opcional, pero si se utiliza debe ser documentado.

Figura 33. Escenario de medición de fibra óptica con OTDR



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises, TIA 568.0 Revision D*. p. 42.

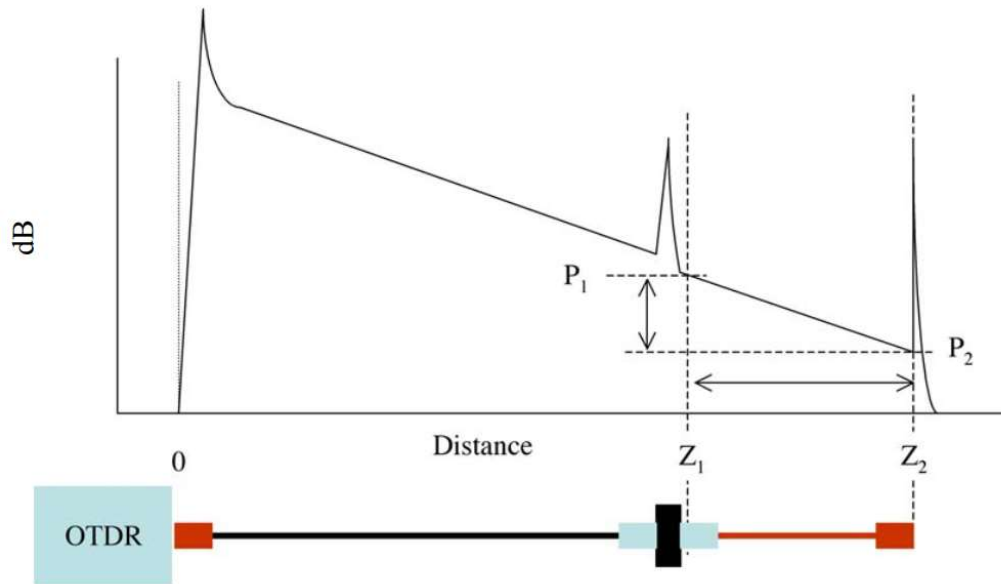
Todas las pruebas realizadas, con OTDR son guardadas en el instrumento de medición y deben ser descargadas a una computadora para presentarse de forma ordenada, con los siguientes parámetros:

- Fecha de la prueba.
- Persona que realizo la prueba.
- Descripción del instrumento de medición: marca, modelo, número de serie.
- Fecha de la última calibración del instrumento de medición.
- Tipo de fibra de lanzamiento.
- Identificación del a fibra bajo prueba.
- Traza en forma gráfica incluyendo los parámetros del OTRD.
- Longitud de onda probada.

La interpretación de graficas de traza de OTDR está fuera del alcance de este trabajo ya que puede variar de forma que se presenta de cada fabricante y cada aplicación. Sin embargo, se presenta de forma genérica la interpretación de dos de los parámetros descritos en secciones anteriores: la atenuación por distancia y la pérdida de inserción en conectores. Se debe tomar en cuenta que los parámetros permitidos en los componentes están descritos en dos estándares desarrollados en dos secciones anteriores.

En la atenuación por distancia se deben interpretar los dos puntos entre eventos de conectores y ubicarlos en el eje horizontal como Z_1 y Z_2 . Posteriormente, ubicarlos en el eje vertical como P_1 y P_2 . La relación de $(P_1 - P_2)/(Z_2 - Z_1)$ es la atenuación de la fibra y se interpreta en dB/km. Se debe tomar en cuenta que estos puntos hacen referencia al segundo tramo de la gráfica ya que el primer tramo es la fibra de lanzamiento, la cual no es el objeto de medición.

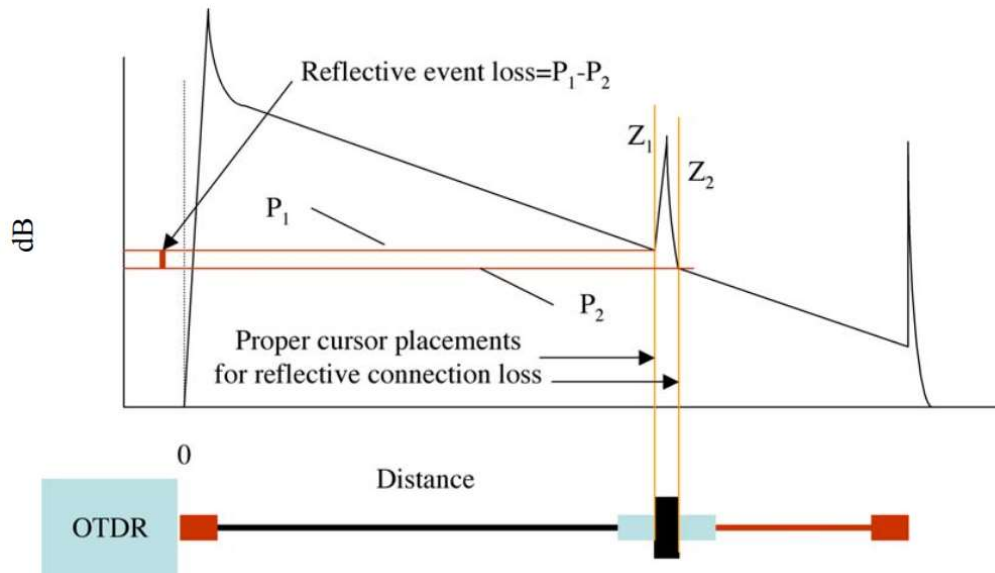
Figura 34. **Grafica de OTDR para cálculo de atenuación por distancia**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises, TIA 568.0 Revision D*. p. 46.

Para la medición de la pérdida de inserción se debe utilizar el método de ubicación de dos puntos, se debe ubicar el evento para colocar los puntos donde se observa la pérdida de continuidad de la gráfica. El primer punto se coloca al inicio de donde inicia el evento de reflexión o subida repentina de la potencia. El segundo punto se coloca en el lugar donde termina este evento y la gráfica retoma su curso. La diferencia de potencia entre el punto P_2 y el punto P_1 indica la pérdida de dicho evento, esta diferencia se interpreta como inserción.

Figura 35. **Grafica de OTDR para cálculo de pérdida de inserción**



Fuente: Telecommunications Industry Association. *Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises, TIA 568.0 Revision D*. p. 47.

3.3. NFPA 70

La Asociación Nacional para la Protección del Fuego, conocida como NFPA por las siglas del nombre en inglés *National Fire Protection Association* desarrolló la normativa NFPA 70 conocida como el código eléctrico de Estados Unidos. La NFPA es una asociación sin fines de lucro dedicada a eliminar los riesgos de muerte y lesiones a las personas, así como daños a la propiedad y pérdidas económicas relacionadas con el fuego.

La normativa NFPA 70 describe los pasos para eliminar los riesgos de incendio o propagación de este relacionados a las instalaciones eléctricas y especiales que requieran comunicación dentro de un edificio. En las

telecomunicaciones se tiene un artículo dedicado específicamente a cableados de comunicaciones generales y artículo para instalaciones de comunicaciones de fibra óptica.

3.3.1. Artículo 770 NFPA

El artículo 770 se refiere a la instalación de cableados de fibra óptica para telecomunicaciones. Este trabajo se centra en tres secciones principales de dicho artículo:

- Ingreso de cables a los edificios
- Instalación dentro de edificios
- Requerimientos de tipos de cable listados

3.3.1.1. Ingreso de cables en edificios

Cuando se ingresan cables de forma aérea a los edificios se debe considerar que los cables de fibra óptica pueden compartir infraestructura de postes en la planta externa. Se debe tener un espacio mínimo entre cables de fibra óptica y cables de servicios eléctricos de 0 a 750 V de, al menos, 300 mm en el recorrido entre postes. En el punto de sujeción en postes la separación mínima debe ser 1 m. No se permite que los cables de fibra óptica y eléctricos compartan accesorios de sujeción.

El ingreso de cables a edificios de forma subterránea que contengan elementos conductores, por ejemplo, armaduras metálicas o miembros de fuerza metálicos deben estar en una sección separada de los cableos eléctricos. Esta separación, para que provea una barrera adecuada, debe hacerse con ladrillos, concreto o baldosas. Para los cableados que se entierran

directamente se debe tener una separación de al menos 300 mm de cableados eléctricos.

Los cables de fibra óptica que contengan materiales conductores deben aterrizarse al ingreso del edificio, se debe hacer la conexión con un cable no menor a calibre 14 AWG y con una capacidad de corriente no menor a la corriente que puede conducir el cable de fibra óptica. El recorrido del conductor de tierra debe ser lo más corto posible y recorrer en línea recta hacia el punto designado de conexión.

3.3.1.2. Instalación dentro de edificios

Las chaquetas de los cables de fibra óptica instalados en edificios deben contar con características de seguridad contra incendios, como retardo de flama y desprendimiento de gases tóxicos, según el área de instalación. La segunda es el tipo de llenado en los ductos y vías de cableado que se utilicen en la instalación.

El llenado de canaletas, tubos Conduit y vías de cableado debe realizarse según las reglas de 50 % mencionadas en el estándar ANSI/TIA 569-D. Información general para industrias donde haya equipos o líneas eléctricas de alta tensión se ofrece en los capítulos y artículos:

- Capítulo 3 “Métodos de cableado y materiales”
- Capítulo 6 “Equipo especial”
- Artículo 800 “Circuitos de comunicación”
- Anexo informativo C, tablas C.1 “tubos EMT” y C10 “tubos PVC sólidos”

3.3.1.2.1. Recorridos Plenum y Riser

En el aspecto de seguridad se deben definir dos ambientes que marcan la necesidad de las características de los forros de los cables. El primero es la cámara plena o *Plenum*, esta cámara es un lugar donde circula aire ambiental, o que puede llegar a ser respirado por los ocupantes del edificio.

Las cámaras plenas se pueden encontrar típicamente en áreas abiertas, espacio entre la losa de techo y cielo falso donde retorna el aire acondicionado y espacio entre la losa de piso y pisos falsos, donde se inyecta aire acondicionado. En este caso, se deben utilizar cables listados como OFNP y OFCP, en vías de cableado que no tengan una estructura cerrada que bloquee el ingreso de fuego. Excepcionalmente, también se pueden utilizar cables listados como OFNR, OFNG, OFCG y OFN siempre que estén dentro de una bandeja metálica cerrada con tapa metálica que impida el contacto directo con la flama en caso de incendio y reduzca la posibilidad de salida del humo toxico.

La segunda área de interés por definir es la denominada *Raiser*. Esta área es el conducto vertical que conecta dos o más niveles en un edificio. Por esta área viaja el cableado troncal principal y tiene acceso restringido a los ocupantes del edificio. Debido a la forma del recorrido de este cableado el aspecto más crítico es la resistencia a la flamabilidad para impedir el paso del fuego entre niveles. En este caso, deben utilizarse cables listados como OFNP, OFCP, OFNR y OFCR.

3.3.1.2.2. Requerimientos de los cables listados

Los cables de fibra óptica deben estar listados e identificados de acuerdo con el artículo a la tabla 770.179. Los cables de fibra óptica deben tener un rango de temperatura no menor a 60 °C y su rango de temperatura debe estar marcado en la chaqueta en el caso excedan los 60 °C.

Los tipos de cable listados como OFNP y OFCP, con elementos conductores o sin ellos, son cables *Plenum*. Estos cables deben ser adecuados para uso en ductos, cámaras plenas y otros espacios utilizados para circulación de aire ambiental, además, deben tener características de resistencia a flamabilidad y baja producción de humo. Las características para clasificar estos cables pueden encontrarse en la norma NFPA 262-215.

Los tipos de cable listados como OFNR y OFCR, con elementos conductores o sin ellos, son cables *Raiser*. Estos cables deben ser adecuados para el uso en recorridos de ductos verticales y deben prevenir el paso de fuego de nivel en nivel en un edificio. Las pruebas que deben superar un cable para considerarse *Raiser* están descritas en la norma ANSI/UL 1666-2011

Los tipos de cable listados como OFNG y OFCG, con elementos conductores o sin ellos, son cables de propósito general. Estos cables pueden usarse en áreas no definidas como *Plenum* o *Riser*, adicionalmente deben cumplir con características que prevengan la propagación del fuego.

A continuación, se muestra la tabla específica del artículo 770.179 donde se describen los tipos de cables de fibra óptica listados y sus aplicaciones permitidas.

Tabla VII. Tipos de cables de fibra óptica listados y sus aplicaciones

Applications		Listed Optical Fiber Cable Type		
		OFNP, OFCP	OFNR, OFCR	OFNG, OFCG, OFN, OFC
In ducts specifically fabricated for environmental air as described in 300.22(B)	In fabricated ducts	Y*	N	N
	In metal raceway that complies with 300.22(B)	Y*	Y*	Y*
In other spaces used for environmental air (plenums) as described in 300.22(C)	In other spaces used for environmental air	Y*	N	N
	In metal raceway that complies with 300.22(C)	Y*	Y*	Y*
	In plenum communications raceways	Y*	N	N
	In plenum cable routing assemblies	Y*	N	N
	Supported by open metal cable trays	Y*	N	N
	Supported by solid bottom metal cable trays with solid metal covers	Y*	Y*	Y*
In risers	In vertical runs	Y*	Y*	N
	In metal raceways	Y*	Y*	Y*
	In fireproof shafts	Y*	Y*	Y*
	In plenum communications raceways	Y*	Y*	N
	In plenum cable routing assemblies	Y*	Y*	N
	In riser communications raceways	Y*	Y*	N
	In riser cable routing assemblies	Y*	Y*	N
	In one- and two-family dwellings	Y*	Y*	Y*
Within buildings in other than air-handling spaces and risers	General	Y*	Y*	Y*
	Supported by cable trays	Y*	Y*	Y*
	In distributing frames and cross-connect arrays	Y*	Y*	Y*
	In any raceway recognized in Chapter 3	Y*	Y*	Y*
	In plenum communications raceways	Y*	Y*	Y*
	In plenum cable routing assemblies	Y*	Y*	Y*
	In riser communications raceways	Y*	Y*	Y*
	In riser cable routing assemblies	Y*	Y*	Y*
	In general-purpose communications raceways	Y*	Y*	Y*
	In general-purpose cable routing assemblies	Y*	Y*	Y*

Fuente: National Fire Protection Association. *NFPA 70 National Electric Code*. p. 636.

4. CONSIDERACIONES PARA DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INTERNA DE UN EDIFICIO

Tomando en cuenta la problemática planteada en el primer capítulo, el propósito de construir la red de fibra óptica dentro de un edificio es proveer la conexión para servicios actuales y futuros de telecomunicaciones entre proveedores de servicios y los clientes ocupantes del edificio, teniendo en cuenta la rotación que puede haber de inquilinos y proveedores. Se debe hacer una red donde todos estos servicios se entreguen de forma transparente a los clientes sin necesidad de cableados adicionales por servicio, abandono de cableados de servicios desactivados y el desorden o fallas generadas por el múltiple acceso de contratistas de operadores de servicios a áreas de trabajo del edificio.

Este capítulo considera las condiciones genéricas para realizar una red de este tipo tomando en cuenta todos los aspectos desarrollados anteriormente según los estándares ANSI/TIA. Se considera un ejemplo para el dimensionamiento de la red, basado en número de ocupantes y la capacidad de servicios que estos puedan requerir, derivando de esto la cantidad de conexiones, tamaño de espacios de telecomunicaciones y canalizaciones. Finalmente, qué consideraciones deben hacerse durante la construcción y documentación final de la construcción de la red para su correcta operación y mantenimiento.

4.1. Estructura general de la red y los espacios por utilizar

Se debe tomar en cuenta que el edificio para el cual se diseña esta red es de una sola administración, pero de varios clientes, que, dependiendo sus condiciones contractuales, pueden ser dueños o arrendatarios de las oficinas o locales comerciales. Partiendo de esta premisa está claro que el modelo base para diseñar los espacios de telecomunicaciones y vías de cableados es el descrito en la sección 3.2.3.3 Espacios para edificios de múltiples inquilinos y el modelo genérico para el diseño de cableado es el descrito en la sección 3.2.1 ANSI/TIA-568.1-D más específicamente el modelo de fibra óptica centralizada.

4.1.1. Cuarto de equipos de telecomunicaciones

El punto de partida de toda la red interna debe ser el cuarto de equipos ya que por la naturaleza pasiva de la red este lugar es el único que aloja los equipos terceros pertenecientes a los operadores de telecomunicaciones. Este cuarto debe tener la capacidad de contener todos los equipos que utilicen los operadores de telecomunicaciones y los equipos para la cros conexión principal, la cual será utilizada para habilitar servicios a los inquilinos. El cuarto debe considerar las condiciones adecuadas para a un cierto número de operadores, para hacer este dimensionamiento se debe tomar en cuenta el mercado local de la ubicación del edificio, para fines prácticos según el mercado que ofrece Guatemala se pueden considerar 4 operadores principales y 2 secundarios, es decir, 6 espacios necesarios para equipos.

Se debe tomar en cuenta los diversos aspectos del cuarto de telecomunicaciones para los siguientes puntos:

- Acometidas de servicios de operadores.

- Conexión de tierra para descargas provenientes de las acometidas.
- Tablero eléctrico con circuitos independientes para cada operador y tomacorrientes de servicios.
- Canalización para comunicación entre los diferentes espacios para equipos de telecomunicaciones.
- Condiciones ambientales adecuadas de humedad, temperatura e ingreso de partículas.

Tomando en cuenta que la naturaleza de la red es totalmente pasiva, el cuarto de equipos es el único espacio donde se alojan equipos activos de telecomunicaciones pertenecientes a los operadores de telecomunicaciones. El resto de los espacios únicamente contienen elementos pasivos de la red para su distribución.

4.1.2. Cuartos de distribución de telecomunicaciones

Los cuartos de distribución de telecomunicaciones deben cumplir con los parámetros descritos en las secciones 3.2.1.2 y 3.2.3.1.2. Estos espacios tienen el propósito de alojar los componentes necesarios para la distribución de servicios en forma horizontal. Aquí se desprenden los servicios desde la red troncal hacia cada uno de los clientes, tomando en cuenta que debe tener acceso y tamaño necesario para permitir el ingreso de los cables de cada uno de los clientes, además de la troncal que conecta este distribuidor y los que puedan pasar hacia cada uno de los otros distribuidores por esta misma ruta.

Entre los aspectos que deben tomarse en cuenta para este espacio se tienen:

- Acceso de canalizaciones para cableados troncales y cableados horizontales.
- Espacio para colocación de equipo de distribución de conexiones de fibra óptica.
- Tomacorrientes de servicio para herramientas y equipo de pruebas.
- Iluminación adecuada para trabajos de mantenimiento.
- Condiciones ambientales adecuadas de humedad, temperatura e ingreso de partículas.

4.1.3. Vías de cableado o canalizaciones

Es necesario dimensionar y planificar las canalizaciones verticales y horizontales de tal forma que permitan la correcta instalación de la red para dar servicios dentro de todo el edificio. Se deben tomar en consideración los puntos desarrollados en la sección 3.2.3.4 Vías de cableado en el edificio.

Al hacer el dimensionamiento se deben tomar en cuenta dos aspectos principales: el llenado de la canalización de acuerdo con la cantidad de cables y tipo de canalización por utilizar, bandejas o Conduit. El segundo aspecto cobra más relevancia en la parte de cableado troncal, este se refiere a los radios de curvatura permitidos por los fabricantes de este cable. Esto es importante porque para la red de fibra óptica propuesta en este trabajo, el cable troncal debe contener varios hilos de fibra, por lo tanto, su construcción puede llegar a limitar el radio de curvatura y capacidades de halado comparado con el cableado utilizado en la parte horizontal.

En la canalización para cableado horizontal debe tomarse en cuenta la forma de terminar la caja para la toma de telecomunicaciones, ya que típicamente en cableado estructurado, las terminaciones de tubería para la

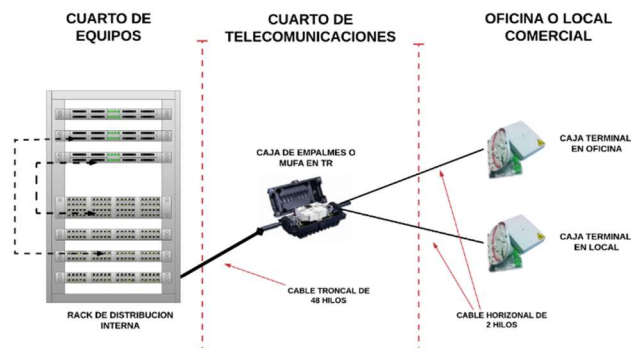
toma de telecomunicaciones es una caja estándar de 4x2x2 pulgadas, pero estas no siempre son adecuadas para los accesorios de remate o terminación de fibra óptica.

4.1.4. Componentes de la red de fibra óptica por utilizar

Los componentes de fibra óptica están determinados por la estructura de esta red. Se debe tomar en cuenta que se está utilizando la topología de fibra óptica centralizada, por lo cual se tiene una única cross conexión en el cuarto de equipos, una red troncal desde el cuarto de equipos hacia los distribuidores y el cableado horizontal desde los distribuidores a cada una de las tomas de telecomunicaciones en los locales comerciales y oficinas.

Para ejemplificar, en esta sección se contempla un edificio con dos niveles de 12 locales cada uno, con un cuarto de equipos y un cuarto de distribución por cada nivel. En la siguiente figura se muestra un diagrama con las partes de esta red.

Figura 36. Componentes de red de fibra óptica



Fuente: elaboración propia.

4.1.4.1. Tomas de telecomunicaciones y cableado horizontal

Cada local debe tener una toma de telecomunicaciones con dos puertos. La red está construida con principios de funcionamiento para operadores de telecomunicaciones, estos utilizan un hilo de fibra por cada puerto para entrega de servicios; por tanto, en cada local se requieren dos puertos, cada uno con un hilo de fibra óptica monomodo habilitado. El cableado horizontal consta de un cable de dos hilos de fibra óptica que recorra desde el cuarto de distribución del nivel respectivo hacia la caja terminal de cada local.

El remate o terminación del cable de fibra óptica debe hacerse en una caja de empalmes descrita en la sección 2.4.3 Cajas terminales *pigtails* y *patchcords*. Debido a que se contemplan dos hilos cada uno con un conector, debe considerarse un *pigtail* por cada hilo, debe seleccionarse el *pigtail* de acuerdo con el tipo de conector y pulido por utilizar. Los operadores de telecomunicaciones en Guatemala utilizan conectores de tipo SC, para aplicaciones de fibra monomodo, respecto al tipo de pulido se tienen variantes según tecnologías utilizadas, pero el predominante para las interconexiones es el APC. Por lo tanto, para fines de este ejemplo y siguientes secciones se toma en cuenta que tanto el conector en la caja terminal, como el *pigtail* para remate, utilizan conexiones SC/APC.

4.1.4.2. Componentes en cuarto de distribución

El cuarto de distribución es el espacio designado para concentrar servicios de cada uno de los locales del nivel y conectarlos a través de la red troncal hacia el cuarto de equipos. Esto implica la necesidad de una caja de empalmes

con capacidad de recibir la cantidad y diversidad de cables horizontales y troncales.

Tomando en cuenta los parámetros descritos en el ejemplo anterior, se consideran por cada cuarto de distribución 12 cables de dos hilos de fibra óptica monomodo, por lo tanto, se tiene la necesidad de 24 hilos de fibra óptica en la troncal. Se requiere una caja de empalmes con capacidad de ingresar 12 cables horizontales y un cable troncal de varios hilos y alojar las bandejas necesarias para fusionar los hilos respectivos. El cable horizontal por sus características debe ser considerado como cable tipo *drop* y el cable troncal como un cable de mayor tamaño con armadura para la protección de los hilos de fibra.

En la práctica el mejor elemento por utilizar es la caja de empales tipo cierre para exterior, descrito en la sección 2.4.2 Cajas de empalmes o fusiones, vale la pena mencionar que estas cajas son conocidas en el medio local como Mufas. Estos cierres presentan las siguientes ventajas:

- Poseen rutas para ingresos de cables de diferentes tamaños los cuales pueden asegurarse para evitar manipulación e ingreso de humedad y partículas.
- Debido a que los cables se preparan y los hilos se fusionan directamente en las bandejas internas, no se utilizan conectores, por lo tanto, la atenuación en dicha conexión es mínima.
- Su tamaño es compacto, por lo que no necesita una colocación dentro de un gabinete o *rack* especificado en el cuarto de distribución de telecomunicaciones. Esto permite que sean adosadas a pared utilizando herrajes en forma de cruz, que incluso permitan el manejo de un excedente de cable o reserva para su operación y mantenimiento.

4.1.4.3. Cuarto de equipos y cableado troncal

Como se ha comentado, en el cuarto de equipos deben concentrarse todas las conexiones provenientes de las tomas de telecomunicaciones de los locales, utilizando cableado troncal desde cada uno de los cuartos de distribución. En este punto, cada uno de los hilos habilitados en las tomas de telecomunicaciones debe contemplar un conector el cual será utilizado para hacer la *cros* conexión respectiva para la habilitación del servicio de telecomunicaciones provisto por el operador.

Tomando en cuenta los parámetros descritos para ejemplo anteriormente, se considera que se deben preparar 48 conexiones, provenientes de un cable de 24 hilos desde cada cuarto de distribución. El componente adecuado para hacer la distribución dentro de un cuarto de equipos es ODF descrito en la sección 2.4.4. Se debe tomar en cuenta que un ODF está diseñado para ser colocado en un bastidor o *rack* estándar de 19 pulgadas, por lo cual debe considerarse el espacio para el *rack* y los espacios o unidades de *rack* que ocupara cada ODF. En este ejemplo se requiere un ODF de 48 puertos individuales, estos pueden encontrarse en chasis de una o dos unidades, tomando en cuenta que deben ingresar dos cables de 24 hilos se considera un ODF de 2 unidades de *rack*. Este ODF debe contar con las bandejas de empalmes o fusiones necesarias para la finalización de los cables con sus respectivos *pigtails*, los cuales al igual que los conectores deben corresponder a los utilizados en las cajas terminales, siendo estos SC/APC.

En el ODF del cuarto de equipos se debe identificar cada puerto con su respectiva oficina para esto se utiliza etiquetado y se ordena de acuerdo con el código de colores de fibra óptica en descrito en la tabla V, dentro de la sección 3.2.4.1 Fibras individuales y unidades de fibras.

Tabla VIII. Identificación de puertos, cables e hilos por medio de código de colores

Numero de puerto en ODF	Cable en cuarto de equipos	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribucion	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local
1	Cable hacia cuarto de distribucion Nivel 2	Azul	Azul	Cable 1	azul	201	A
2			Naranja		nararanja	201	B
3			Cable 2	Verde	azul	202	A
4				Cafe	nararanja	202	B
5			Cable 3	Gris	azul	203	A
6				Blanco	nararanja	203	B
7			Cable 4	Rojo	azul	204	A
8				Negro	nararanja	204	B
9			Cable 5	Amarillo	azul	205	A
10				Violeta	nararanja	205	B
11			Cable 6	Rosa	azul	206	A
12				Aqua	nararanja	206	B
13		Naranja	Cable 7	Azul	azul	207	A
14				Naranja	nararanja	207	B
15			Cable 8	Verde	azul	208	A
16				Cafe	nararanja	208	B
17			Cable 9	Gris	azul	209	A
18				Blanco	nararanja	209	B
19			Cable 10	Rojo	azul	210	A
20				Negro	nararanja	210	B
21			Cable 11	Amarillo	azul	211	A
22				Violeta	nararanja	211	B
23			Cable 12	Rosa	azul	212	A
24				Aqua	nararanja	212	B
25	Cable hacia cuarto de distribucion Nivel 1	Azul	Azul	Cable 1	azul	101	A
26			Naranja		nararanja	101	B
27			Cable 2	Verde	azul	102	A
28				Cafe	nararanja	102	B
29			Cable 3	Gris	azul	102	A
30				Blanco	nararanja	103	B
31			Cable 4	Rojo	azul	103	A
32				Negro	nararanja	104	B
33			Cable 5	Amarillo	azul	104	A
34				Violeta	nararanja	105	B
35			Cable 6	Rosa	azul	105	A
36				Aqua	nararanja	106	B
37		Naranja	Cable 7	Azul	azul	106	A
38				Naranja	nararanja	107	B
39			Cable 8	Verde	azul	107	A
40				Cafe	nararanja	108	B
41			Cable 9	Gris	azul	109	A
42				Blanco	nararanja	109	B
43			Cable 10	Rojo	azul	109	A
44				Negro	nararanja	110	B
45			Cable 11	Amarillo	azul	111	A
46				Violeta	nararanja	111	B
47			Cable 12	Rosa	azul	112	A
48				Aqua	nararanja	112	B

Fuente: elaboración propia.

La tabla VIII muestra la correspondencia de puertos, cables e hilos de acuerdo con los datos del ejemplo desarrollado. Esta correspondencia facilita las tareas de identificación para conexiones nuevas y para operación y mantenimiento en caso de una falla, ya que se puede hacer el recorrido completo de la instalación.

Tomando los datos de la tabla puede hacerse el seguimiento de la siguiente forma; el local 208 tiene dos conexiones, correspondientes a los puertos 15 y 16 del ODF en el cuarto de equipos. Si se requiere una revisión de los hilos se toma en cuenta que estos puertos corresponden al cable troncal hacia nivel 2, pertenecen al *buffer* Naranja y se corresponden de la siguiente forma:

- Hilo verde, corresponde al hilo azul en el cable horizontal o puerto A dentro del local.
- Hilo café, corresponde al hilo naranja en el cable horizontal o puerto B dentro del local.

4.2. Dimensionamiento para construcción de la red

Para dimensionar la red se parte de la premisa de la cantidad de locales u oficinas que se tengan en el edificio, se debe tomar en cuenta casos especiales donde se requiera tomas de telecomunicaciones adicionales para una mayor cantidad de conexiones, si anticipadamente se conoce el tipo de ocupante del local u oficina, es posible determinar la necesidad que este cliente tendría, por ejemplo, una agencia bancaria requerirá siempre al menos dos conexiones de dos proveedores de servicio distintos.

Para el resto del trabajo se toma en cuenta el siguiente escenario como punto de partida para los dimensionamientos y consideraciones adicionales. Se cuenta con un edificio de tipo mixto con 20 niveles y 5 sótanos, los niveles inferiores desde Sótano 1 al Nivel 3, son de tipo comercial, por lo que cuentan con una alta densidad de locales comerciales y se incluye la oficina administrativa en el sótano 1. Los niveles 4 al 20 tienen oficinas. Su tamaño y distribución varía en los niveles. En los sótanos inferiores, no se requiere servicios de telecomunicaciones pertenecientes a esta red, por lo tanto, se dejan fuera del alcance. La siguiente tabla muestra la de forma gráfica la distribución del edificio.

Tabla IX. **Oficinas y locales en el edificio**

	Oficinas	Locales comerciales
Nivel 20	1	0
Nivel 19	2	0
Nivel 18	4	0
Nivel 17	4	0
Nivel 16	4	0
Nivel 15	4	0
Nivel 14	4	0
Nivel 13	4	0
Nivel 12	6	0
Nivel 11	6	0
Nivel 10	6	0
Nivel 9	6	0
Nivel 8	6	0
Nivel 7	6	0
Nivel 6	6	0
Nivel 5	8	0
Nivel 4	8	0
Nivel 3	0	16
Nivel 2	0	18
Nivel 1	0	12
Sotano 1	1	4
Totales	86	50

Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Dimensionamiento de cuartos de distribución de telecomunicaciones

Tomando en cuenta la cantidad total de locales y la distribución de estos, se debe considerar la cantidad y ubicación de cuartos de distribución. Aunque el estándar ANSI/TIA569-E indica que se debe tener un cuarto de telecomunicaciones por cada nivel, en la práctica hay edificios con un área reducida o que tienen un solo local u oficina por nivel, por lo tanto, se puede hacer un análisis para determinar el agrupar cierta cantidad de locales o niveles en un solo cuarto de telecomunicaciones.

Debido a la necesidad de un mínimo de dos hilos por local y además partiendo que los cables troncales se utilizan típicamente cables de 48 hilos, se recomienda un máximo de 24 locales por cada cuarto de distribución. En el caso que se empleen cables troncales de 96 hilos se debe considerar un máximo de 48 locales por cuarto de distribución.

Se debe tomar en cuenta también que en la práctica no se recomienda llegar al máximo de locales por centro de distribución, esto debido a que puede requerirse cierta capacidad de crecimiento, la capacidad de crecimiento no está descrita en ningún estándar, pero tomando en cuenta que un edificio de este tipo no debe tener muchos cambios, para fines de este trabajo se tomara una recomendación máxima del 80 % de ocupación de la capacidad provisionada en el cuarto de distribución.

Como se mencionó, cada uno de los locales u oficinas puede necesitar una segunda toma de telecomunicaciones o acometida. Por eso, en la siguiente tabla se propone una distribución separando las oficinas y locales con necesidad de acometidas adicionales.

Tabla X. **Oficinas y locales con necesidad de acometidas adicionales**

	Oficinas	Oficinas con doble acometida	Locales comerciales	Locales con doble acometida
Nivel 20	0	1	0	0
Nivel 19	1	1	0	0
Nivel 18	4	0	0	0
Nivel 17	4	0	0	0
Nivel 16	2	2	0	0
Nivel 15	4	0	0	0
Nivel 14	4	0	0	0
Nivel 13	4	0	0	0
Nivel 12	4	2	0	0
Nivel 11	6	0	0	0
Nivel 10	6	0	0	0
Nivel 9	6	0	0	0
Nivel 8	6	0	0	0
Nivel 7	6	0	0	0
Nivel 6	6	0	0	0
Nivel 5	8	0	0	0
Nivel 4	8	0	0	0
Nivel 3	0	0	12	4
Nivel 2	0	0	18	0
Nivel 1	0	0	10	2
Sotano 1	0	1	4	0
Totales	79	7	44	6

Fuente: elaboración propia.

Una vez realizada la separación, se agrupan los locales para acomodar la cantidad adecuada por cuartos de telecomunicaciones y ubicar los espacios designados a estos cuartos, como se mencionó, se debe tomar en cuenta el cable troncal por utilizar, así como la capacidad de crecimiento que puede tenerse.

En base a la distribución presentada en las tablas IX y X, se toman en cuenta las oficinas de niveles superiores para agrupar y de esta forma dimensionar el cuarto de telecomunicaciones que dará servicios a esta área. El nivel 20 solo cuenta con una oficina, pero con doble acometida. El nivel 19 cuenta con dos oficinas, pero una de estas requiere doble acometida. Según la cantidad de oficinas en los niveles 20 y 19, la construcción de un cuarto de telecomunicaciones sería un desperdicio de espacio para concentrar dos y tres cables horizontales respectivamente.

Se toman en cuenta los siguientes niveles para concentrar más cableados horizontales. Los niveles 18 y 17 cuentan con 4 oficinas cada uno. El nivel 16 cuenta con 4 oficinas dos de estas requieren doble acometida. El nivel 15 cuenta con 4 oficinas.

Sumando todos los cableados horizontales o acometidas de las oficinas de niveles 20 al 15 se obtienen 23 acometidas. Aunque es viable acomodar todos estos cableados horizontales en un cuarto de distribución que tenga un cable troncal de 48 hilos, no se recomienda hacer porque se limita el crecimiento. Si se repite el ejercicio considerando únicamente de los niveles 20 al 16 se obtienen 20 acometidas. Esto cumple con un máximo del 80 % dejando la capacidad de crecer 4 acometidas en caso fueran necesarias.

Utilizando estos mismos principios se van agrupando los cableados horizontales de los niveles inferiores, contemplando cuartos de distribución de telecomunicaciones a los que llegan cables troncales de 48 hilos. Se toma como un caso especial los niveles 2, 1 y sótano 1 que se concentran en el cuarto de equipos en una caja de empales de 96 hilos. La distribución propuesta se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XI. **Agrupación propuesta para cuartos de distribución de telecomunicaciones**

	Oficinas	Oficinas con doble acometida	Locales comerciales	Locales con doble acometida	Acometidas/ Hilos totales
Nivel 20	0	1	0	0	19 / 38
Nivel 19	1	1	0	0	
Nivel 18	4	0	0	0	
Nivel 17	4	0	0	0	
Nivel 16	2	2	0	0	
Nivel 15	4	0	0	0	20 / 40
Nivel 14	4	0	0	0	
Nivel 13	4	0	0	0	
Nivel 12	4	2	0	0	
Nivel 11	6	0	0	0	18 / 36
Nivel 10	6	0	0	0	
Nivel 9	6	0	0	0	
Nivel 8	6	0	0	0	18 / 36
Nivel 7	6	0	0	0	
Nivel 6	6	0	0	0	
Nivel 5	8	0	0	0	16 / 32
Nivel 4	8	0	0	0	
Nivel 3	0	0	12	4	20 / 40
Nivel 2	0	0	18	0	38 / 76
Nivel 1	0	0	10	2	
Sotano 1	0	1	4	0	

Fuente: elaboración propia.

Se observa que en algunos niveles la distribución de los cuartos de telecomunicaciones varía de acuerdo con la cantidad de cableados horizontales a concentrar. Para los cuartos que concentran varios niveles, se recomienda ubicarlos en el nivel central de los niveles que agrupa, por ejemplo, para los

niveles del 20 al 16 se recomienda construir el cuarto de distribución en el nivel 18. En el caso la agrupación sea únicamente de dos niveles se prefiere el cuarto de distribución en el nivel inferior, aunque puede variarse según conveniencia de temas arquitectónicos, estructurales u otros.

Finalmente, con la distribución propuesta, puede hacerse un resumen de las ubicaciones, capacidades y disposiciones para los cuartos de distribución de telecomunicaciones. La siguiente tabla muestra el resumen de los cuartos de distribución de telecomunicaciones y es el punto de partida para dimensionar la red troncal.

Tabla XII. **Cuartos de distribución de telecomunicaciones y dimensionamiento de sus capacidades**

Ubicación de Cuarto de distribución	Niveles que concentra	Acometidas	Hilos a utilizar	Capacidad hilos instalada	Hilos para crecimiento
Nivel 18	16 al 20	19	38	48	10
Nivel 13	12 al 15	20	40	48	8
Nivel 10	9 al 11	18	36	48	12
Nivel 7	8 al 6	18	36	48	12
Nivel 4	4 y 5	16	32	48	16
Nivel 3	3	20	40	48	8
Sotano 1	Sotano 1 al Nivel 2	38	76	96	20

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Dimensionamiento de red troncal

La red troncal recorre las trayectorias verticales desde el cuarto de equipos, hacia cada uno de los cuartos de telecomunicaciones dimensionados,

esto con cables de fibra de alta capacidad para cubrir la demanda de concentración de oficinas y locales.

Dentro del cuarto de equipos se deben considerar los ODF como el inicio de la red troncal, los ODF serán utilizados para colocar conectores y organizar todos los hilos de fibra que van hacia los cuartos de distribución de telecomunicaciones. Debe tomarse en cuenta los *racks* y unidades de *racks* por utilizarse para dichos ODF, o en caso se tenga otro factor de forma tomar en cuenta sus dimensiones y rutas de ingreso para los cables troncal y las cros conexiones.

Tomando en cuenta los datos del ejemplo y estandarizando el uso de ODFs de 48 y 96 puertos se observa que se requieren seis ODF de 48 puertos y un ODF de 96 puertos. Tomando en cuenta que la mayoría de los fabricantes ofrece estos ODF en chasis de 2 unidades de *rack* para 48 puertos y 4 unidades de *rack* para 96 puertos, se observa entonces que se requiere 16 unidades de *rack* para la colocación de estos, por lo tanto, un solo rack es necesario en el cuarto de equipos, para la colocación de los ODF de la red troncal.

Se recomienda que, aunque no se utilice la totalidad de puertos de los ODF, estos fusionen en su totalidad, hacia el cable troncal, para que cuando se requiera habilitar hilos reservados para crecimiento, solo se manipule la caja de empalmes dentro del cuarto de distribución de telecomunicaciones y evitar manipulación del ODF en fase de operación.

Dentro de los cuartos de distribución de telecomunicaciones se contemplan las cajas de empalme tipo cierre o mufas con las bandejas para las fusiones necesarias, para los hilos provistos y los reservados para crecimiento.

Los hilos reservados para crecimiento no deben cortarse sino almacenarse ordenadamente en su bandeja correspondiente.

4.2.3. Dimensionamiento de cuarto de equipos

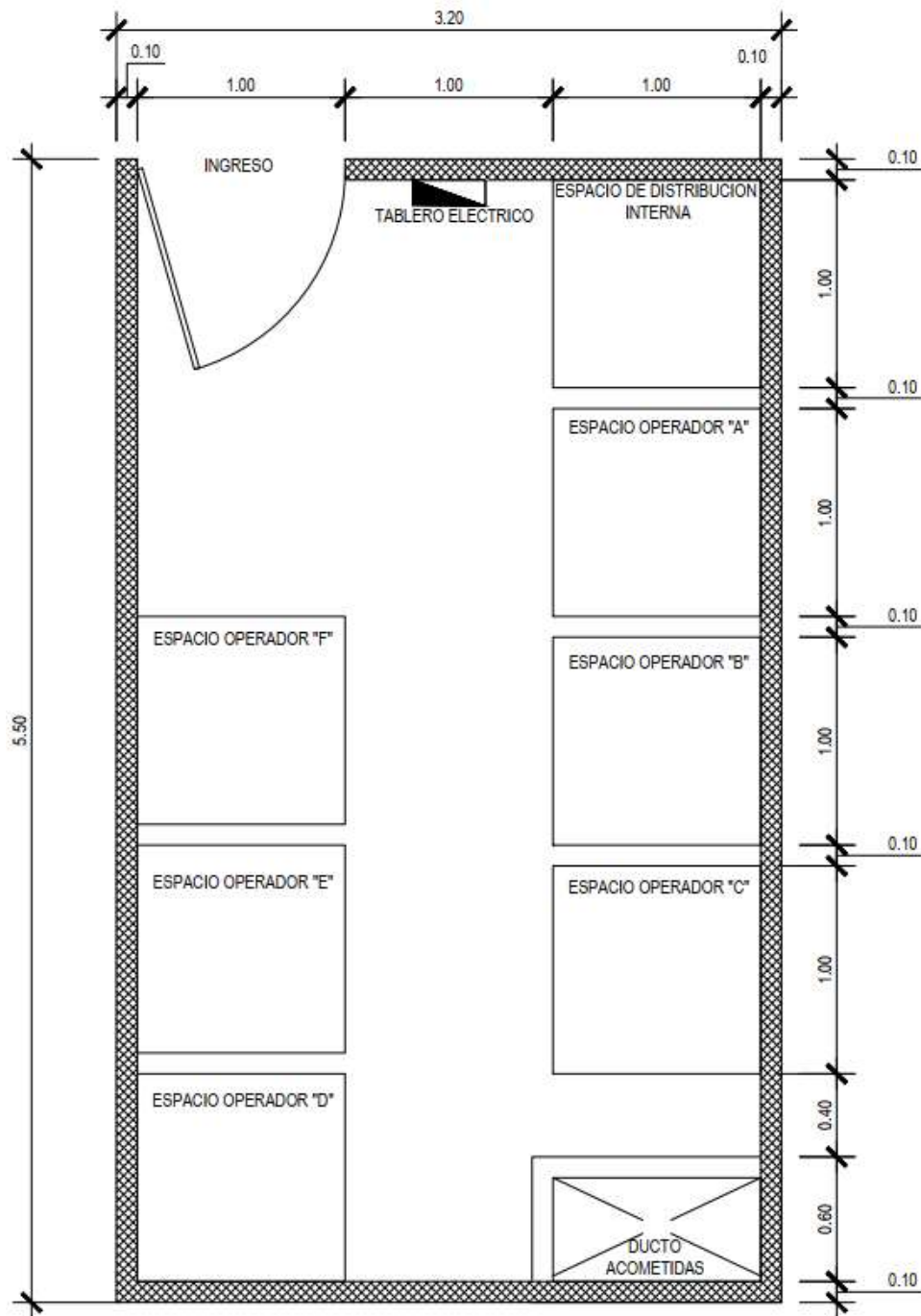
Para dimensionar el cuarto de equipos se debe tomar en cuenta los espacios necesarios para cada uno de los operadores de servicios de telecomunicaciones que tendrán ingreso al edificio, para cada uno de ellos se necesitan tres aspectos esenciales:

- Espacio físico para colocación de *rack* o gabinete que contiene equipos
- Circuito de alimentación eléctrica
- Ruta de acometida de telecomunicaciones desde el exterior del edificio

4.2.3.1. Espacios físicos

Es donde los operadores deben colocar los equipos que reciben las señales desde su red externa al edificio y la transforman o adecuan para poder entregar los servicios individuales requeridos por cada ocupante del edificio. Típicamente los equipos se alojan en gabinetes que den soporte físico, prevengan manipulación de terceros y en algunos casos el manejo de las condiciones ambientales. Estos gabinetes pueden tener diferentes dimensiones, pero, en su mayoría no ocupan un área de piso mayor a 1 m², en otros casos los equipos pueden ir únicamente colocados en un rack. En cualquiera de los dos casos se recomienda dimensionar por operador un espacio de 1 m x 1 m. en la siguiente imagen se muestra una distribución propuesta para cuarto de equipos.

Figura 37. Distribución de áreas dentro de cuarto de equipos



Fuente: elaboración propia.

4.2.3.2. Alimentación eléctrica

Como se mencionó en la sección 3.2.3.2 “Espacios para proveedores de servicios”, el mínimo que el estándar nos indica es un tomacorriente doble de 120 V con un circuito de 20 A independientes por cada uno de los operadores. En la actualidad los equipos de telecomunicaciones han aumentado sus capacidades de procesamiento de señales y eficiencia en chasis que consumen relativamente poca energía comparado con sus predecesores, pero, con la convergencia de equipos, nace la necesidad de proveer energía redundante para evitar cortes de servicio, esto quiere decir que los equipos de operadores utilizan dos fuentes de poder para poder garantizar alta disponibilidad. Cada una de estas fuentes de poder debe ser alimentada de un circuito eléctrico independiente. Por tanto, en la práctica se recomienda tener por operador al menos capacidad de dos circuitos, debido a que el consumo de corriente puede variar en cada equipo, se toma en cuenta como base 20 A por circuito; pero este valor o cualquier otro parámetro o requisito especial debe validarse al momento de la implementación con cada uno de los operadores.

Como parte de los requisitos eléctricos se debe considerar la conexión a tierra de todos los equipos, circuitos y elementos conductores que componen la red, para esto debe considerarse una barra de conexión a tierra, la cual se denomina TMGB (siglas del nombre en inglés *Telecom Main Grounding Busbar*) Esta es la que concentra todos los elementos susceptibles a una descarga eléctrica al sistema de tierra del edificio.

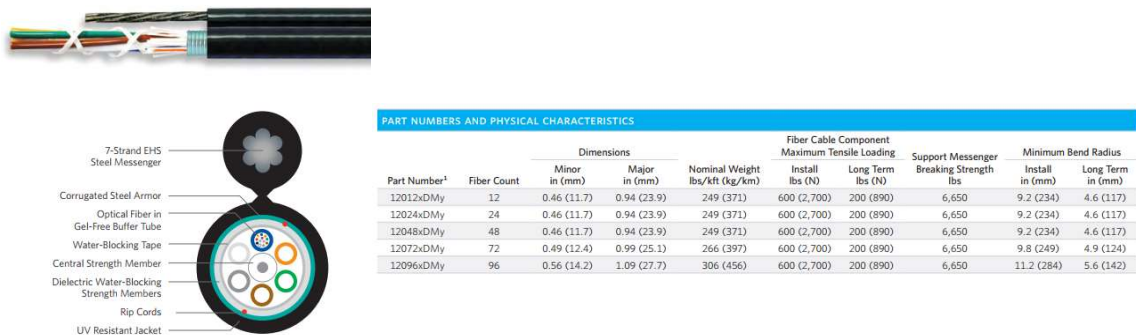
4.2.3.3. Acometida de red externa

La acometida de la red externa de los operadores debe cumplir con los requisitos descritos en la sección 3.2.3.1.3 Espacios o cuartos de acometida.

Para los fines prácticos del mercado de telecomunicaciones de Guatemala, se cuenta con 4 operadores principales y dos secundarios, se debe considerar una tubería independiente por cada uno de estos.

El tamaño de tubería Conduit por utilizar se determinará por la cantidad y tipo de cables por utilizar. Se debe tomar en cuenta que en el peor de los casos un operador no utilizara equipos internamente en el edificio, sino que habilitara una cantidad de hilos de fibra óptica desde su nodo más cercano, esta cantidad de hilos de fibra óptica podría llegar a ser un cuarto de lo considerado en la red troncal, por lo tanto, un operador podría llegar a requerir ingresar un cable de 96 hilos de fibra óptica. Estos cables por ser diseñados para aplicaciones de exterior, hacen que sus dimensiones físicas sean mayores de las de un cable utilizado para interior. En la figura 38 se presenta un cable con dos características específicas de planta externa: armadura para soportar aplastamiento y mensajero, cable metálico que da mayor soporte para tramos aéreos.

Figura 38. Cables de fibra óptica en plata externa



Fuente: Superior Essex. Superior Essex Communications products catalog 2017, p.B-16.

Tomando en cuenta las características presentadas para este cable en 96 hilos se puede indicar que el área a ocupar es de 0,56 por 1,09 pulgadas haciendo 0,62 pulgadas cuadradas. Tomando en cuenta que para tubería Conduit se debe considerar una ocupación máxima del 40 % del área, la tubería adecuada para esta acometida es de 2 pulgadas de diámetro la cual da un área de 3,1416 pulgadas cuadradas. Aunque puede verse que podría utilizarse un tubo de un menor diámetro, se recomienda utilizar el de dos pulgadas, para la facilidad de halado durante el proceso de instalación. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta el radio de curvatura de este cable para hacer cualquier cruce, ya sea con dobleces del tubo o con cajas de registro; si se utilizan cajas de registro se recomienda que sean de al menos 8 por 8 pulgadas.

Como ultima consideración para la acometida se debe tomar en cuenta la conexión al sistema de tierra física dentro del edificio. Si se toma en cuenta el cable descrito anteriormente, este contiene dos elementos metálicos los cuales pueden ser conductores de descarga eléctrica. Tanto la armadura como el mensajero deben conectarse con un cable eléctrico calibre 6 AWG, como mínimo hacia la barra de tierra TMGB, esta conexión debe utilizar los accesorios necesarios para unir de forma efectiva y correcta los conductores del cable de fibra óptica hacia el cable de tierra.

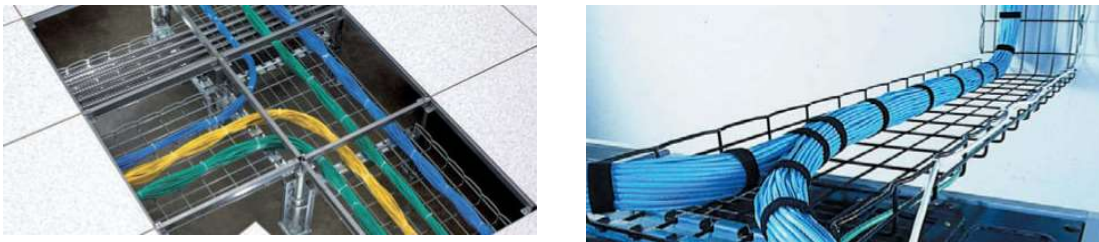
4.3. Consideraciones de canalización

Para la canalización se debe considerar los tipos de recorridos y los diferentes cables que pasaran por esos. El primer recorrido que debe tomarse en cuenta es la conexión de cables en el cuarto de equipos, en este espacio se cuenta, con cables de planta externa, cables troncales de la red interna y cables de conexión entre los gabinetes de los operadores y el rack de cros conexión hacia la red interna.

Debido a la complejidad que representan estas rutas dentro del cuarto de equipos es poco práctico realizarlo con tubería Conduit, por lo tanto, la opción es la utilización de bandejas o canaletas. En el mundo de las telecomunicaciones se ha dado una nueva tendencia de la utilización de bandejas abiertas o tipo malla, las cuales representan diversas ventajas:

- Facilidad de instalación por ser flexible para realizar instalaciones complejas con cruces y desniveles.
- Diversidad de accesorios para instalaciones en piso, techo o pared.
- Facilidad de acceso para adición o cambios en las rutas de cableados.
- Permite la sujeción de cable en varios puntos para evitar sobrepasar las tensiones de halado durante su instalación.
- Permite la ventilación de cables que transportan energía y emiten calor.

Figura 39. **Instalaciones de datos con bandeja tipo malla**



Fuente: Legrand USA. *Legrand Cablofil cable management catalog 2018/2019*. p. A.3.

Las condiciones de llenado que debe utilizarse para estas bandejas son las mismas que las de las bandejas metálicas cerradas descritas en la sección 3.2.3.6 Caletas como vías de cableado, se debe considerar el área de acuerdo con la cantidad y diversidad de cables por utilizar. Para dimensionar el peor de los casos se debe considerar un tramo de esta bandeja dentro del

cuarto de equipos, donde recorran los 6 cables de acometida de los operadores de telecomunicaciones y adicionalmente todos los cables de salida de red troncal interna, cabe mencionar que esto no debería pasar si las rutas son correctamente diseñadas. Cada cable de acometida de operadores requiere un área de 0,62 pulgadas cuadradas, siendo un total de 6 operadores se puede considerar el total de área para cables de acometida debe ser 3,72 pulgadas cuadradas. En el caso de los cables de distribución interna se consideran como 8 cables individuales de 48 hilos de fibra con tipo de construcción de chaqueta simple y completamente dieléctrica como en la figura 4, se puede observar en la misma hoja de datos del catálogo, que su diámetro nominal es de 0,47 pulgadas haciendo un área de 0,694 pulgadas cuadradas por cable, tomando el total de 8 cables serian, 5,552 pulgadas cuadradas. Las consideraciones anteriores dan un área máxima para cables de 9,27 pulgadas cuadradas por lo que una bandeja de 12x4 pulgadas, la cual tendría una ocupación de aproximada del 20 % lo cual deja bastante espacio para crecimiento y facilidad para ordenar los cables por tipo de conexión.

El segundo recorrido a considerar es propiamente de la red interna, el cual lleva el cableado troncal saliendo desde el cuarto de equipos hacia todos los cuartos de distribución de telecomunicaciones dentro de edificio. Normalmente, esta trayectoria en su mayoría es vertical, debido a esto toma aún más valor el hecho de hacerlo con bandejas de tipo malla, esto para tener sujeción de los cables en varios puntos durante su recorrido, asegurando así que no se tendrá tensión excesiva en los pocos puntos de sujeción que permita una tubería Conduit. Para considerar el dimensionado de esta bandeja se deben tomar en cuenta los 8 cables troncales de la distribución interna los cuales comprenden un área de 5,55 pulgadas cuadradas; además, se puede considerar como el peor de los casos, el máximo de cables horizontales o acometidas que pueden llegar a un cuarto de distribución de telecomunicaciones. Siguiendo los datos

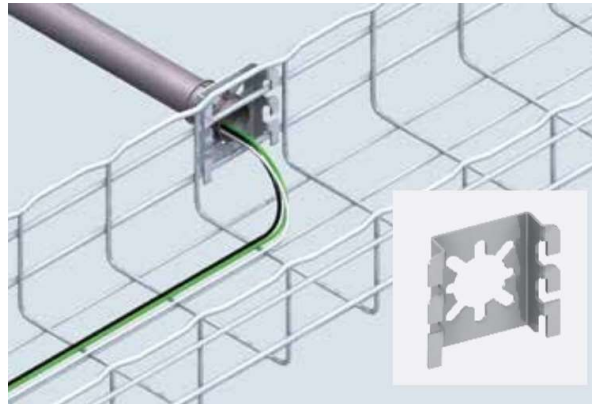
del del ejemplo que se está desarrollando, se toma que el mayor número de acometidas en una sección es 38 cables, si se utiliza el cable *drop* de la figura 14 se observa en la hoja de datos que para dos hilos su tamaño nominal es de 0,17 por 0,32 pulgadas, haciendo un área de 0,055 pulgadas cuadradas por cable, tomando el total de 38 cables el área de bandeja requerida sería de 2,067 pulgadas cuadradas. Sumando los 8 cables troncales más los 38 cables horizontales se tiene un área total de 7,619 pulgadas cuadradas, por tanto, se recomienda una bandeja para este recorrido de 8x4 pulgadas, la cual estaría utilizada aproximadamente a un 25 % permitiendo crecimiento.

Finalmente, se debe considerar la canalización que parte desde el cuarto de distribución de telecomunicaciones hacia cada uno de los locales este recorrido es típicamente con tubería Conduit PVC, en esta tubería debería de llevar en el peor de los casos 2 cables *drop* de acometida, el área requerida por estos es de 0,11 pulgadas cuadradas, por lo tanto, un tubo de 1/2 pulgada da el área de 0,785 pulgadas cuadradas, dando una utilización menor al 25 % del área permitiendo comodidad suficiente para la instalación de los dos cables horizontales más un posible crecimiento.

Las condiciones de esta tubería respecto a distancias máximas, máximos ángulos de curvas, cajas de halado esta descrito en la sección 3.2.3.7 Uso de tubería Conduit.

Para el desprendimiento de cada uno de estos tubos desde la bandeja de malla, se recomienda usar adecuadamente los accesorios, como los acoplamientos para tubería Conduit presentados en la figura 40 lo cual garantiza la protección de los cables en las transiciones de tipo de canalización.

Figura 40. **Copla de bandeja de malla a Conduit**



Fuete: Legrand USA. *Legrand Cablofil cable management catalog 2018/2019*. p. A.48.

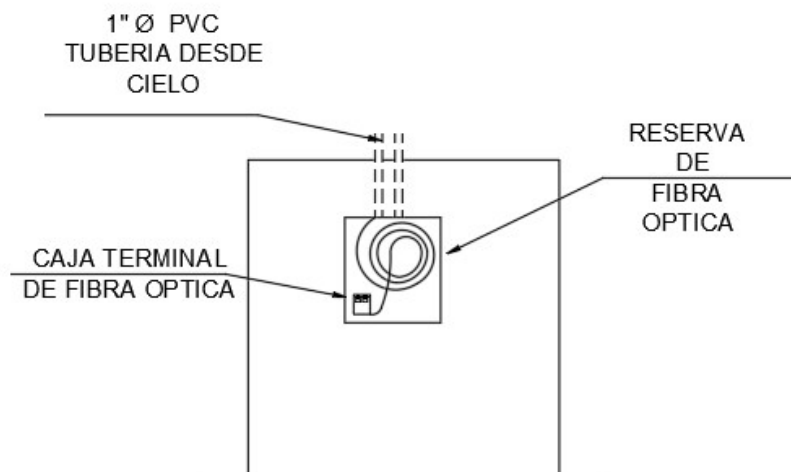
La finalización de estas trayectorias de tubería se realiza con una caja de registro. Si se conoce la infraestructura de canalización de telecomunicaciones dentro del usuario final, puede hacerse la trayectoria y acomodarse de tal forma que llegue al rack o gabinete donde se hará la conexión. En el caso del ejemplo de este trabajo, se cuenta con oficinas o locales vacíos, por lo tanto, se debe dejar una caja de registro donde se finalice la trayectoria y pueda acceder para hacer las conexiones necesarias cuando llegue un ocupante.

Las cajas de registro en cada oficina o local deben permitir el acceso a conexiones futuras y proteger el cable y accesorios utilizados para el remate de la fibra óptica. Se debe tomar en cuenta dos aspectos importantes para el dimensionamiento de estas cajas:

- El manejo de la reserva de fibra óptica
- El tamaño de la caja terminal utilizada

Aunque en ninguna parte del estándar se menciona el tener reserva de los cables de fibra óptica es una práctica que se recomienda debido a la necesidad de operación y mantenimiento a largo plazo, puede tomarse en cuenta que se tengan al menos 5m de cable acomodados en la última caja. Las cajas terminales de fibra óptica son conocidas en campo como Molex, se muestran en los accesorios descritos en el capítulo 2, específicamente, en la figura 19 puede observarse que sus tiene dimensiones considerables y debe tomarse en cuenta el espacio donde se va a colocar. Tomado en cuenta las consideraciones anteriores, se recomienda utilizar una caja de al menos 8x8x4 pulgadas, con esto se puede tener un manejo correcto de la reserva de fibra óptica, y colocar la molex de tal forma que pueda colocarse un *patchcord* para conexiones sin exceder los radios mínimos de curvatura permitidos, en la figura a continuación se muestra la terminación recomendada.

Figura 41. **Caja de registro para terminación de conexión de telecomunicaciones dentro del local u oficina**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Documentación de entrega para operación y mantenimiento

Para entregar una red garantizando su correcto funcionamiento se debe proporcionar varios documentos técnicos que certifiquen la correcta terminación de cada uno de los enlaces de clientes instalados, la capacidad de crecimiento de la red y los puntos críticos necesarios para hacer la operación y mantenimiento en caso de fallas o modificaciones.

4.4.1. Certificación de hilos

Como se mencionó en el capítulo anterior, el método de mayor aceptación para las pruebas de fibra óptica es la medición de las pérdidas utilizando OTDR. Todas las características de cómo realizar la medición se desarrollaron en la sección 3.2.5.2. Medición con OTDR por lo tanto, a esta sección se añaden únicamente dos recomendaciones adicionales. La bobina de lanzamiento debe ser de 2 km porque responde al estándar que usan los operadores de telecomunicaciones en instalaciones de planta externa. La medición con OTDR puede realizarse únicamente desde los ODF en el cuarto de equipos, por lo tanto, la información mínima que se debería tener para el informe es: *rack*, ODF y puerto; a esto debe añadirse la información de correspondencia de oficina o local comercial al cual llegue dicho puerto, por lo tanto, se propone marcar las mediciones utilizando los siguientes ejemplos:

- R1-ODF3-P01-L301A: rack 1, ODF 3, Puerto 01, Local 301, Hilo "A"
- R1-ODF3-P02-L301B: rack 1, ODF 3, Puerto 02, Local 301, Hilo "B"
- R1-ODF7-P13-OF1401A: rack 1, ODF 7, Puerto 13, Oficina 1401, Hilo "A"
- R1-ODF7-P14-OF1401B: rack 1, ODF 7, Puerto 13, Oficina 1401, Hilo "B"

Respecto a los parámetros de desempeño se encuentran en el estándar ANSI/TIA-568.3-D, el cual se desarrolló en la sección 3.2.2. Se presentan los tres parámetros más importantes que deben revisarse o verse reflejados en la medición:

- Atenuación de 0,4 dB/km en toda la longitud del cable instalado para las longitudes de onda de 1 310 nm y 1 550 nm.
- Atenuación máxima por fusión 0,3 dB.
- Atenuación por inserción o conector máxima de 0,75 dB.

Si durante la certificación se encuentran enlaces fuera de estos valores, se debe corregir para que cumplan con los parámetros válidos, sean estas acciones, rehacer fusiones, limpiar conectores o reemplazar cables defectuosos.

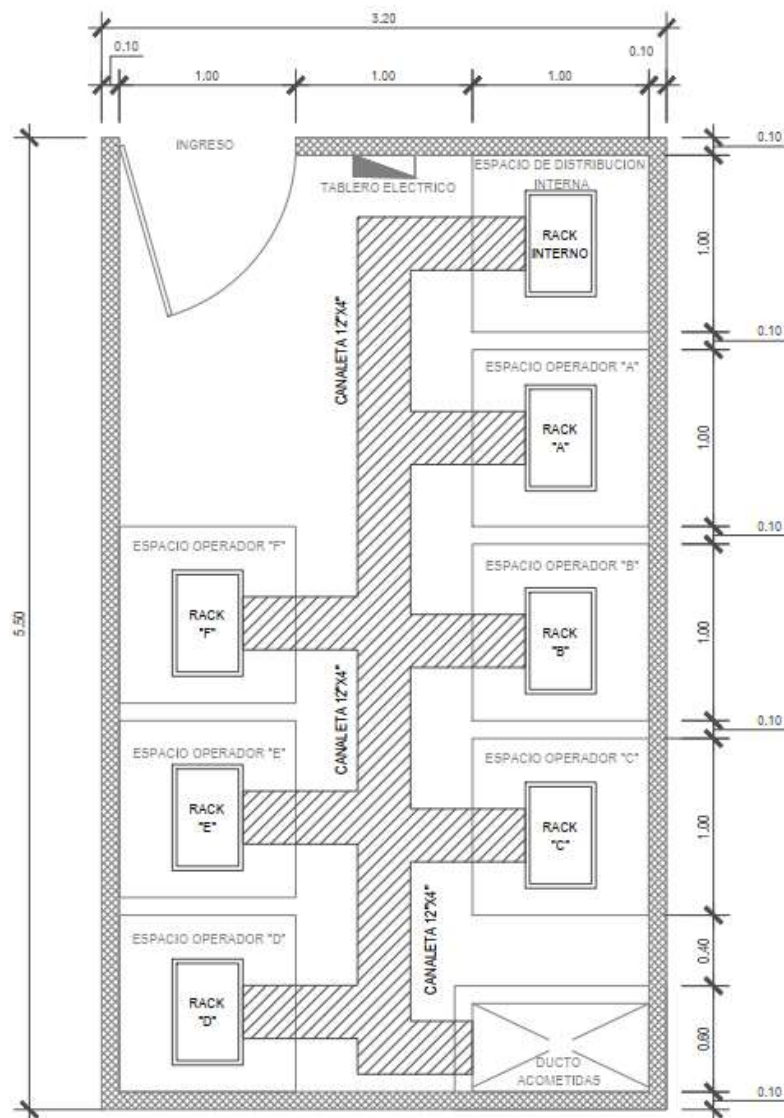
4.4.2. Planos y diagramas de la construcción

Es importante generar planos de la construcción final de los espacios y rutas de canalización dentro del edificio para poder hacer el seguimiento de las vías de cableado desde el cuarto de equipos hacia los cuartos de distribución de telecomunicaciones y finalmente hacia cada una de las oficinas o locales comerciales.

En el cuarto de equipos deben detallarse los espacios para *racks* o gabinetes asignados a cada proveedor. También deben detallarse los circuitos eléctricos desde el tablero principal dedicado a este cuarto, aquí se debe incluir la conexión o barra de tierra TMGB. Dependiendo de la ubicación del cuarto, en este mismo plano se puede detallar la acometida desde la calle, sea subterránea o aérea y el tipo de canalización que llegará desde esta acometida

hacia el cuarto. En la figura 42 se muestra una vista de planta de un cuarto de equipos con su distribución respectiva. También se pueden generar vistas frontales de los espacios de *rack* para indicar las rutas de canalización interna.

Figura 42. **Plano de planta de cuarto de equipos**



Fuente: elaboración propia.

Se debe trazar el plano de perfil del edificio. En él se verá la ruta de canalización y los espacios designados como cuartos de distribución de telecomunicaciones dentro del edificio. Estos cuartos deberían ubicarse alineados verticalmente, pero si la arquitectura lo impide, debe reflejarse en los planos de perfiles sobre los ejes necesarios, además de las plantas donde se hacen los cambios de eje de forma vertical. Los planos de planta deben reflejar la canalización y cableado horizontal desde cada cuarto de distribución de telecomunicaciones hacia cada uno de los locales, oficinas o espacios donde se entreguen tomas de telecomunicaciones.

Los planos deben incluir la nomenclatura del tipo y tamaño de canalización y el tipo y cantidad de cables que se transporten dentro de dicha canalización.

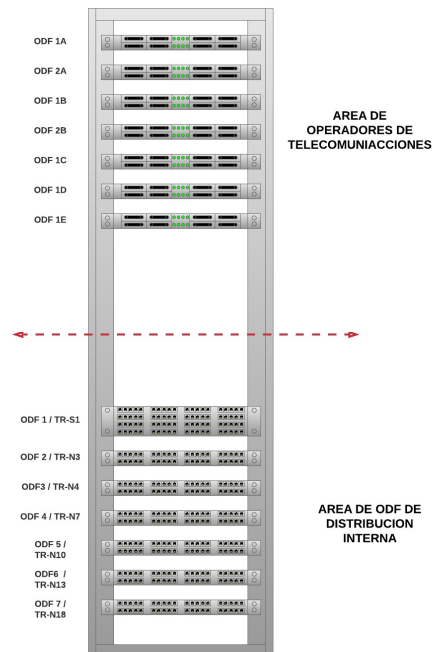
Dado que un plano puede ser muy complejo por la alta cantidad de detalles, para el personal de campo es más efectivo utilizar diagramas esquemáticos que contengan la información gráfica resumida, de tal forma que los puntos críticos de la red pueden identificarse para hacer cambios, operarlos o darles mantenimiento. Estos diagramas pueden contener diversos tipos de información de acuerdo con el nivel de detalle que se requiera para alguna tarea específica.

En la figura 43 se presentan dos diagramas de información relevante, primero la distribución de espacios en dentro del edificio, esto es, la ubicación de los cuartos de distribución de telecomunicaciones y sus áreas de influencia o locales de que dependen de este cuarto; y segundo, la distribución de ODF dentro del rack principal en el cuarto de equipos. Ambos deben tener una correspondencia en su nombre o nomenclatura para que sean complementarios y fáciles de comprender para las tareas de operación y mantenimiento. Estos

diagramas están elaborados de acuerdo con los datos de ejemplo que se han desarrollado en este capítulo.

Figura 43. Diagramas esquemáticos de construcción de red

	Acometidas de Oficinas o Locales	Cuarto de distribución de telecomunicaciones	Observaciones
Nivel 20	2	TR-N18	Nivel 18, 38 hilos utilizados, ODF 7
Nivel 19	3		
Nivel 18	4		
Nivel 17	4		
Nivel 16	6		
Nivel 15	4	TR-N13	Nivel 13, 40 hilos utilizados, ODF 6
Nivel 14	4		
Nivel 13	4		
Nivel 12	8		
Nivel 11	6	TR-N10	Nivel 10, 36 hilos utilizados, ODF 5
Nivel 10	6		
Nivel 9	6		
Nivel 8	6	TR-N7	Nivel 7, 36 hilos utilizados, ODF 4
Nivel 7	6		
Nivel 6	6		
Nivel 5	8	TR-N4	Nivel 4, 32 hilos utilizados, ODF 3
Nivel 4	8		
Nivel 3	20	TR-N3	Nivel 3, 40 hilos utilizados, ODF 2
Nivel 2	18	TR-S1	Sotano 1, 76 hilos utilizados, ODF 1
Nivel 1	14		
Sotano 1	6		



Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Base de datos de hilos de fibra óptica

La base de datos de hilos de fibra óptica es esencial para la operación y mantenimiento de la red, ya que esta identifica y mapea todas las conexiones realizadas desde el cuarto de equipos hasta el puerto de la toma de telecomunicaciones en la acometida dentro de la oficina o local comercial.

La estructura básica que debe contener esta base de datos se ejemplifico en la tabla VIII. Se recomienda que la información contenida, para la identificación de extremo a extremo de la instalación de fibra óptica, presentando todos los puntos críticos donde se puede realizar verificaciones para tareas de operación y mantenimiento, sea:

- Rack en cuarto de equipos.
- Número de ODF.
- Puerto de ODF.
- Número de cable troncal en ODF.
- Cuarto de distribución de telecomunicaciones a donde llega dicho cable.
- Buffer dentro del cable.
- Hilo dentro del buffer.
- Número de cable horizontal en cuarto de distribución de telecomunicaciones.
- Número de local u oficina.
- Hilo dentro del cable horizontal.
- Puerto dentro local u oficina.

En los apéndices se presenta una base de datos completa de acuerdo con el desarrollo de este trabajo donde se tiene 7 ODF y los 298 hilos considerados.

5. MODELO DE GOBIERNO Y ADMINISTRACIÓN DE LA RED

Para garantizar que la red diseñada y construida como parte de los sistemas del edificio opere correctamente a lo largo de su vida útil, se debe garantizar una adecuada administración de los pasos que se deben seguir para la prestación de servicios, cambios que se requieran o resolución de fallas.

Para este propósito, se debe asignar un administrador de la red. Se le denomina de esta forma genérica porque puede ser una persona o grupo de personas encargadas de realizar las tareas de administración y velar por el cumplimiento de los procedimientos que se desarrollan en este capítulo.

5.1. Mantenimiento de base de datos de instalaciones

El punto de partida para administrar correctamente la red es tener la información detallada de todos los elementos que la componen, esta información está contenida en la base descrita en sección 4.4.3. Base de datos de hilos de fibra óptica. Se debe tomar en cuenta que esta información debe validarse en conjunto con los diagramas y mediciones OTDR.

La base de datos de instalaciones, parte de datos contenidos en la base de datos general de construcción de la red. Esta debe mostrar los circuitos activos, los cuales reflejan cuando un operador está prestando un servicio a un ocupante del edificio, que puede ser un local comercial u oficina. Esta base debe tener como información mínima los siguientes campos:

- Operador de servicios de telecomunicaciones

- Nombre de empresa contratante de servicios
- Número de ODF de operador
- Puerto de ODF de operador
- ID de circuito de operador
- Rack en cuarto de equipos
- Número de ODF
- Puerto de ODF
- Número de local u oficina
- Acometida de local u oficina
- Puerto dentro de local u oficina

Puede observarse que esta base de datos contiene información correspondiente a la red interna, pero no se ocupa de todos los detalles ya que únicamente le interesa donde se conecta el operador a la red interna y como entrega el servicio al cliente final. La información que se refiere al circuito de operador y cliente es necesaria para facilitar los procesos de operación y mantenimiento. Un ejemplo de esta base de datos se presenta en los anexos.

5.2. Procedimiento para instalación de servicios

Para hacer una instalación de servicios de parte de un operador a un ocupante, se debe seguir un procedimiento regulado por el administrador de la red para obtener la información para la base de datos de instalaciones y asegurar que no se lleve a cabo manipulaciones de elementos de la red que no aporten a prestación de dicho servicio.

Una instalación que realice un operador para un ocupante o inquilino debe ser asistida por el administrador de red. El personal técnico del operador debe indicar el identificador de local comercial u oficina al cual proporcionara

servicios, en esta información el administrador puede validar de acuerdo con la base de datos hilos de fibra óptica, los datos necesarios para conexión a la red interna, específicamente los datos de red y puerto que debe conectarse el operador.

El operador debe proporcionar la información referente a sus datos técnicos y el cliente final al que entregaran el circuito, de tal forma que el administrador pueda completar la información correspondiente en la base de datos de instalaciones, de acuerdo con la estructura presentada en la sección anterior.

Dentro del cuarto de equipos, el personal técnico del operador debe hacer la cros conexión entre el la red propia y la red interna, para esto debe utilizar un *patchcord* de longitud y conectores adecuados para los puertos correspondientes. El *patchcord* utilizado debe etiquetarse con la información correspondiente a ambos puertos de conexión e identificación de oficina o cliente. Dentro de la oficina del cliente se debe colocar el *patchcord* correspondiente desde la caja terminal hacia el equipo utilizado por el operador. El etiquetado de este *patchcord* se deja a discreción del operador que preste servicio debido a que no forma parte ni modifica la red interna.

5.3. Procedimiento para bajas de servicios

Las bajas de servicio suceden cuando un operador deja de prestar servicio a un cliente porque este lo cancela o porque se va del edificio.

Estas bajas de servicios se deben documentar para que la base de datos se mantenga actualizada y se mantenga la disponibilidad de real de recursos de la red. Esta gestión tiene que hacerse siempre en coordinación con el

administrador de red, de tal forma que este verifique la desconexión de los puertos correspondientes en el ODF dentro el cuarto de equipos y dentro del local u oficina del cliente. Se debe actualizar la base de datos de instalaciones de tal forma que se eliminen los datos de operador y cliente.

El operador de servicios debe retirar los *patchcords* y equipos utilizados para la prestación del servicio, de tal forma que, cuando se requiera una nueva instalación el procedimiento sea idéntico al descrito en la sección anterior.

5.4. Procedimiento para cambios en la red

Se pueden dar dos casos de cambios en la red, el primero es el crecimiento, pudiendo ser por necesidad de más conexiones que las previstas en los locales u oficinas o ampliación, de estas por ejemplo en las oficinas que ocupan un nivel completo, se parten en oficinas más pequeñas.

5.4.1. Cambios por crecimiento de oficinas

Se toma como ejemplo que la oficina contemplada como una sola en nivel 20 se divide en tres oficinas, dejando una oficina con las dos acometidas originales y contemplando que se requiere una acometida nueva en cada una de las dos oficinas nuevas. De acuerdo con la estructura de la red, se debe decidir el uso de los hilos en reserva del TR-N18, el cual cuenta con una capacidad de crecimiento de 10 hilos. Se deben instalar dos nuevos cables horizontales con dos hilos cada uno, es decir que se utilizarán cuatro hilos de fibra óptica, que se ocuparán de acuerdo con el código de colores correspondiente y ocuparán los puertos del ODF reservados para este crecimiento.

Toda la información relacionada a estas instalaciones debe cumplir con los parámetros descritos en la sección 4.4.3. Base de datos de hilos de fibra óptica y subsecuentemente contar con la información necesaria para la base de datos de instalaciones.

Toda la instalación debe cumplir con los estándares, normativas y pruebas descritas en capítulos 3 y 4, para garantizar su desempeño y cumplir con los procedimientos de la misma forma que cualquier otra instalación.

5.4.2. Cambios por fallas

Si la red de fibra interna sufre un corte por alguna circunstancia fuera de operación normal, los cables deben reemplazarse ya sean en la parte troncal o en el cableado horizontal.

Si se necesita cambiar el cableado horizontal, se deben utilizar los hilos correspondientes en el cable troncal para mantener la secuencia y lógica del diseño y no realizar alteraciones mayores a la base de datos.

En caso de daños en los hilos del cable troncal, se debe hacer el cambio a hilos de reserva en caso estos alcancen para cubrir los hilos dañados, siempre haciendo uso de las secuencias lógicas de orden de acuerdo con el código de colores marcado por el estándar. En el caso extremo donde deba reemplazarse todo el cable troncal, se recomienda hacer la sustitución uno a uno de los hilos de tal manera se mantenga el orden de la instalación original.

Para ambos casos se debe actualizar la base de datos de hilos de fibra óptica, de esta manera se contará con información real para la operación y mantenimiento.

5.5. Procedimientos para atención de fallas

Se pueden presentar fallas en los circuitos por distintos motivos y la principal fuente de información sobre estas son los clientes quienes o usuarios ocupantes de los locales u oficinas. Debido a que la red no utiliza equipo activo, el primer punto de atención para el cliente debe ser su proveedor de servicios, el cual debe realizar todos los procesos internos establecidos para diagnosticar y resolver la falla, en caso sea a nivel de configuración lógica de los equipos utilizados.

Si se llega a determinar que no se tiene comunicación con el equipo terminal instalado en las premisas de cliente, debe coordinarse una revisión en conjunto con el administrador de la red, para hacer las pruebas necesarias para determinar si es un problema propiamente de la red interna. Los primeros parámetros que deben descartarse debido a que pueden aparentar una falla de la red son:

- Fallas eléctricas que afecten los equipos y por lo tanto la comunicación.
- Malas inserciones en los *patchcords* que pueden provocar degradación de la señal óptica y por lo tanto comunicación.
- Estado de los *patchdors* que estén por debajo del radio de curvatura permitido.

Una vez descartado esto, se debe validar que la conexión a través de la red este en óptimas condiciones, para esta tarea, se deben realizar dos tareas.

La primera es la verificación de hilos y puertos con una lampara de prueba para fibra óptica, esta lampara inyecta luz en una longitud de onda visible utilizando un conector del tipo utilizado para la red. El resultado esperado por con esta

prueba es inyectar luz en el conector de la caja terminal dentro del cliente y que esta luz sea visible en el respectivo puerto de ODF en el cuarto de equipos.

Figura 44. **Lampara de pruebas para fibra óptica**



Fuente: Banggood .*Fiber optic visual fault locator*. https://www.banggood.com/10mW-10KM-Fiber-Optic-Visual-Light-Laser-Source-Cable-Fault-Locator-Finder-Tester-Equipment-p-1030938.html?cur_warehouse=CN. Consulta noviembre de 2019.

El uso de la lampara es un método rápido y sencillo de verificar la correspondencia de hilos e inspeccionar visualmente la continuidad de este. Se debe tomar en cuenta que hay degradaciones como la atenuación por distancia y fusiones, que son completamente obviadas por este método.

El segundo paso es hacer una certificación completa con OTRD con una bobina de lanzamiento adecuada, para validar todos los parámetros a lo largo el tramo instalado. En ambos casos se toma en cuenta que en los puertos, cables e hilos siguen siendo los mismos. En caso se requiera hacer un cambio que afecte la red se debe hacer la actualización de información en la base de datos

de hilos de fibra óptica, de acuerdo con lo descrito en la sección 5.4.2. Cambios por fallas.

Una vez resuelto los inconvenientes que tengan la red interna, respaldado por la certificación de OTRD del hilo o hilos involucrados es responsabilidad del operador realizar nuevamente todos los procesos necesarios para la habilitación del servicio.

CONCLUSIONES

1. Los servicios de telecomunicaciones se han convertido en una herramienta primordial para el funcionamiento de las empresas, por tanto, los edificios que alojan empresas comerciales deben tomar en cuenta las instalaciones de servicios de telecomunicaciones, para poder ofrecer a sus ocupantes múltiples servicios de los varios operadores del mercado guatemalteco.
2. Debido a la alta capacidad de ancho de banda y baja susceptibilidad a factores externos que degraden su desempeño, la fibra óptica es el medio de transmisión más versátil para los servicios de telecomunicaciones requeridos por las empresas.
3. El correcto dimensionamiento de la red en la fase de diseño hará que se tomen en cuenta los espacios necesarios dentro del edificio, así como las canalizaciones recomendadas para garantizar una correcta operación y escalabilidad de la red, requiriendo cambios mínimos y reduciendo la problemática que se observa en los edificios antiguos.
4. La documentación correcta desde la fase de diseño, hasta la operación y mantenimiento, dan la garantía de una larga vida útil de la red, así como su facilidad de mantenimiento si se mantienen los procesos adecuados de gobierno de ésta.

RECOMENDACIONES

1. Hacer un estudio del mercado de servicios de telecomunicaciones, para entender las necesidades de los clientes y las propuestas de los proveedores de servicios a fin de diseñar una red que cubra ambos aspectos.
2. Aunque en Guatemala no existen normativas para instalaciones de dentro de los edificios, se debe aplicar como base las normas internacionales que garanticen el correcto funcionamiento de la red, la correcta operatividad entre todos sus componentes y seguridad en caso de siniestros.
3. Se debe identificar y documentar la red de acuerdo con estándares, para poder administrar de forma correcta todos los aspectos de operación y mantenimiento, así como cambios por crecimiento, o fallas.
4. Tomar en cuenta el realizar mantenimiento preventivo para la red cada 6 meses, con tareas tales como verificar el estado de los cables dentro de los cuartos de equipos y distribución, tomando en cuenta orden, identificación y estado de reservas. Realizar una medición OTDR de una muestra aleatoria del 10 % de puertos por ODF con el fin de comparar todos los eventos reflectivos y así determinar si se tiene alguna degradación de la fibra óptica.

5. Promover en Guatemala la adopción de normativas de para instalaciones de equipos y servicios de telecomunicaciones, con el fin de estandarizar y así garantizar alto desempeño y seguridad para estas redes. Esto puede hacerse a través de instituciones tecnológicas tales como IEEE o la Superintendencia de telecomunicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. National Fire Protection Association. *NFPA 70 National Electric Code*. 2016. 882 p.
2. Telecommunications Industry Association. *Generic Telecommunications Cabling for Customer Premises, TIA 568.0 Revision D*. TIA Telecommunications industry association standards and engineering publications, 2017. 90 p.
3. _____. *Commercial building Telecommunications Infrastructure Standard TIA 568.1 Revision D*. Telecommunications industry association standards and engineering publications, 2018. 66 p.
4. _____. *Optical fiber cabling and components standard TIA 568.3 Revision D*. Telecommunications industry association standards and engineering publications, 2019. 114 p.
5. _____. *Telecommunications pathways and spaces TIA 569 Revision E*. Telecommunications industry association standards and engineering publications, 2019. 112 p.
6. _____. *Optical fiber cable color coding TIA 568.3 Revision D*. Telecommunications industry association standards and engineering publications, 2018. 52 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Base de datos de hilos instalados para ejemplo desarrollado en capítulo 4

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troncal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local		
ODF No. 7	1	Cable No.1	TR-N18	Azul	Azul	Cable 1	azul	1601	A		
	2				Naranja		naranja	1601	B		
	3				Verde	Cable 2	azul	1601	A		
	4				Cafe		naranja	1601	B		
	5				Gris	Cable 3	azul	1602	A		
	6				Blanco		naranja	1602	B		
	7				Rojo	Cable 4	azul	1602	A		
	8				Negro		naranja	1602	B		
	9				Amarillo	Cable 5	azul	1603	A		
	10				Violeta		naranja	1603	B		
	11				Rosa	Cable6	azul	1604	A		
	12				Aqua		naranja	1604	B		
	13			Azul	Naranja	Cable 7	azul	1701	A		
	14			Naranja			naranja	1701	B		
	15			Verde		Cable 8	azul	1702	A		
	16			Cafe			naranja	1702	B		
	17			Gris		Cable 9	azul	1703	A		
	18			Blanco			naranja	1703	B		
	19			Rojo		Cable 10	azul	1704	A		
	20			Negro			naranja	1704	B		
	21			Amarillo		Cable 11	azul	1801	A		
	22			Violeta			naranja	1801	B		
	23			Rosa		Cable 12	azul	1802	A		
	24			Aqua			naranja	1802	B		
	25			Azul	Cable 13	azul	1803	A			
	26			Naranja		naranja	1803	B			
	27			Verde	Cable 14	azul	1804	A			
	28			Cafe		naranja	1804	B			
	29			Gris	Cable 15	azul	1901	A			
	30			Blanco		naranja	1901	B			
	31			Rojo	Cable 16	azul	1901	A			
	32			Negro		naranja	1901	B			
	33			Amarillo	Cable 17	azul	1902	A			
	34			Violeta		naranja	1902	B			
	35			Rosa	Cable 18	azul	2001	A			
	36			Aqua		naranja	2001	B			
	37			Azul	Cable 19	azul	2001	A			
	38			Naranja		naranja	2001	B			
	39			Verde	Cafe	Libre para crecimiento					
	40			Cafe							
	41			Gris							
	42			Blanco							
	43			Rojo							
	44			Negro							
	45			Amarillo							
	46			Violeta							
	47			Rosa							
	48			Aqua							

Continuación de apéndice 1.

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troncal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local			
ODF No. 6	1	Cable No.1	TR-N13	Azul	Azul	Cable 1	azul	1201	A			
	2				Naranja		naranja	1201	B			
	3				Verde	Cable 2	azul	1201	A			
	4				Cafe		naranja	1201	B			
	5				Gris	Cable 3	azul	1202	A			
	6				Blanco		naranja	1202	B			
	7				Rojo	Cable 4	azul	1202	A			
	8				Negro		naranja	1202	B			
	9				Amarillo	Cable 5	azul	1203	A			
	10				Violeta		naranja	1203	B			
	11				Rosa	Cable6	azul	1204	A			
	12				Aqua		naranja	1204	B			
	13			Azul	Cable 7	azul	1205	A				
	14			Naranja		naranja	1205	B				
	15			Verde	Cable 8	azul	1206	A				
	16			Cafe		naranja	1206	B				
	17			Gris	Cable 9	azul	1301	A				
	18			Blanco		naranja	1301	B				
	19			Rojo	Cable 10	azul	1302	A				
	20			Negro		naranja	1302	B				
	21			Amarillo	Cable 11	azul	1303	A				
	22			Violeta		naranja	1303	B				
	23			Rosa	Cable 12	azul	1304	A				
	24			Aqua		naranja	1304	B				
	25			Azul	Cable 13	azul	1401	A				
	26			Naranja		naranja	1401	B				
	27			Verde	Cable 14	azul	1402	A				
	28			Cafe		naranja	1402	B				
	29			Gris	Cable 15	azul	1403	A				
	30			Blanco		naranja	1403	B				
	31			Rojo	Cable 16	azul	1404	A				
	32			Negro		naranja	1404	B				
	33			Amarillo	Cable 17	azul	1501	A				
	34			Violeta		naranja	1501	B				
	35			Rosa	Cable 18	azul	1502	A				
	36			Aqua		naranja	1502	B				
	37			Azul	Cable 19	azul	1503	A				
	38			Naranja		naranja	1503	B				
	39			Verde	Cable 20	azul	1504	A				
	40			Cafe		naranja	1504	B				
	41			Gris	Libre para crecimiento							
	42			Blanco								
	43			Rojo								
	44			Negro								
	45			Amarillo								
	46			Violeta								
	47			Rosa								
	48			Aqua								

Continuación de apéndice 1.

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troncal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local
ODF No. 5	1	Cable No.1	TR-N10	Azul	Azul	Cable 1	azul	901	A
	2				Naranja		naranja	901	B
	3				Verde	Cable 2	azul	902	A
	4				Cafe		naranja	902	B
	5				Gris	Cable 3	azul	903	A
	6				Blanco		naranja	903	B
	7				Rojo	Cable 4	azul	904	A
	8				Negro		naranja	904	B
	9				Amarillo	Cable 5	azul	905	A
	10				Violeta		naranja	905	B
	11				Rosa	Cable6	azul	906	A
	12				Aqua		naranja	906	B
	13			Azul	Cable 7	azul	1001	A	
	14			Naranja		naranja	1001	B	
	15			Verde	Cable 8	azul	1002	A	
	16			Cafe		naranja	1002	B	
	17			Gris	Cable 9	azul	1003	A	
	18			Blanco		naranja	1003	B	
	19			Rojo	Cable 10	azul	1004	A	
	20			Negro		naranja	1004	B	
	21			Amarillo	Cable 11	azul	1005	A	
	22			Violeta		naranja	1005	B	
	23			Rosa	Cable 12	azul	1006	A	
	24			Aqua		naranja	1006	B	
	25			Azul	Cable 13	azul	1101	A	
	26			Naranja		naranja	1101	B	
	27			Verde	Cable 14	azul	1102	A	
	28			Cafe		naranja	1102	B	
	29			Gris	Cable 15	azul	1103	A	
	30			Blanco		naranja	1103	B	
	31			Rojo	Cable 16	azul	1104	A	
	32			Negro		naranja	1104	B	
	33			Amarillo	Cable 17	azul	1105	A	
	34			Violeta		naranja	1105	B	
	35			Rosa	Cable 18	azul	1106	A	
	36			Aqua		naranja	1106	B	
	37			Azul	Libre para crecimiento				
	38			Naranja					
	39			Verde					
	40			Cafe					
	41			Gris					
	42			Blanco					
	43			Rojo					
	44			Negro					
	45			Amarillo					
	46			Violeta					
	47			Rosa					
	48			Aqua					

Continuación de apéndice 1.

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troncal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local		
ODF No. 4	1	Cable No.1	TR-N7	Azul	Azul	Cable 1	azul	601	A		
	2				Naranja		naranja	601	B		
	3				Verde	Cable 2	azul	602	A		
	4				Cafe		naranja	602	B		
	5				Gris	Cable 3	azul	603	A		
	6				Blanco		naranja	603	B		
	7				Rojo	Cable 4	azul	604	A		
	8				Negro		naranja	604	B		
	9				Amarillo	Cable 5	azul	605	A		
	10				Violeta		naranja	605	B		
	11				Rosa	Cable6	azul	606	A		
	12				Aqua		naranja	606	B		
	13			Azul	Naranja	Azul	Azul	Cable 7	azul	701	A
	14			Naranja			naranja		701	B	
	15			Verde			Cable 8	azul	702	A	
	16			Cafe				naranja	702	B	
	17			Gris			Cable 9	azul	703	A	
	18			Blanco				naranja	703	B	
	19			Rojo			Cable 10	azul	704	A	
	20			Negro				naranja	704	B	
	21			Amarillo			Cable 11	azul	705	A	
	22			Violeta				naranja	705	B	
	23			Rosa			Cable 12	azul	706	A	
	24			Aqua				naranja	706	B	
	25			Azul	Verde	Verde	Azul	Cable 13	azul	801	A
	26			Naranja			naranja		801	B	
	27			Verde			Cable 14	azul	802	A	
	28			Cafe				naranja	802	B	
	29			Gris			Cable 15	azul	803	A	
	30			Blanco				naranja	803	B	
	31			Rojo			Cable 16	azul	804	A	
	32			Negro				naranja	804	B	
	33			Amarillo			Cable 17	azul	805	A	
	34			Violeta				naranja	805	B	
	35			Rosa			Cable 18	azul	806	A	
	36			Aqua				naranja	806	B	
	37			Azul	Caté	Caté	Azul	Libre para crecimiento			
	38			Naranja			Naranja				
	39			Verde			Verde				
	40			Cafe			Cafe				
	41			Gris			Gris				
	42			Blanco			Blanco				
	43			Rojo			Rojo				
	44			Negro			Negro				
	45			Amarillo			Amarillo				
	46			Violeta			Violeta				
	47			Rosa			Rosa				
	48			Aqua			Aqua				

Continuación de apéndice 1.

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troncal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local			
ODF No. 3	1	Cable No.1	TR-N4	Azul	Azul	Cable 1	azul	401	A			
	2				Naranja		naranja	401	B			
	3				Verde	Cable 2	azul	402	A			
	4				Cafe		naranja	402	B			
	5				Gris	Cable 3	azul	403	A			
	6				Blanco		naranja	403	B			
	7				Rojo	Cable 4	azul	404	A			
	8				Negro		naranja	404	B			
	9				Amarillo	Cable 5	azul	405	A			
	10				Violeta		naranja	405	B			
	11				Rosa	Cable6	azul	406	A			
	12				Aqua		naranja	406	B			
	13			Azul	Cable 7	azul	407	A				
	14			Naranja		naranja	407	B				
	15			Verde	Cable 8	azul	408	A				
	16			Cafe		naranja	408	B				
	17			Gris	Cable 9	azul	501	A				
	18			Blanco		naranja	501	B				
	19			Rojo	Cable 10	azul	502	A				
	20			Negro		naranja	502	B				
	21			Amarillo	Cable 11	azul	503	A				
	22			Violeta		naranja	503	B				
	23			Rosa	Cable 12	azul	504	A				
	24			Aqua		naranja	504	B				
	25			Azul	Cable 13	azul	505	A				
	26			Naranja		naranja	505	B				
	27			Verde	Cable 14	azul	506	A				
	28			Cafe		naranja	506	B				
	29			Gris	Cable 15	azul	507	A				
	30			Blanco		naranja	507	B				
	31			Rojo	Cable 16	azul	508	A				
	32			Negro		naranja		B				
	33			Amarillo	Libre para crecimiento							
	34			Violeta								
	35			Rosa								
	36			Aqua								
	37			Azul								
	38			Naranja								
	39			Verde								
	40			Cafe								
	41			Gris								
	42			Blanco								
	43			Rojo								
	44			Negro								
	45			Amarillo								
	46			Violeta								
	47			Rosa								
	48			Aqua								

Continuación de apéndice 1.

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troncal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local			
ODF No. 2	1	Cable No.1	TR-N4	Azul	Azul	Cable 1	azul	L301	A			
	2				Naranja		nararanja	L301	B			
	3				Verde	Cable 2	azul	L302	A			
	4				Cafe		nararanja	L302	B			
	5				Gris	Cable 3	azul	L303	A			
	6				Blanco		nararanja	L303	B			
	7				Rojo	Cable 4	azul	L304	A			
	8				Negro		nararanja	L304	B			
	9				Amarillo	Cable 5	azul	L305	A			
	10				Violeta		nararanja	L305	B			
	11				Rosa	Cable6	azul	L306	A			
	12				Aqua		nararanja	L306	B			
	13			Azul	Cable 7	azul	L307	A				
	14			Naranja		nararanja	L307	B				
	15			Verde	Cable 8	azul	L308	A				
	16			Cafe		nararanja	L308	B				
	17			Gris	Cable 9	azul	L309	A				
	18			Blanco		nararanja	L309	B				
	19			Rojo	Cable 10	azul	L310	A				
	20			Negro		nararanja	L310	B				
	21			Amarillo	Cable 11	azul	L311	A				
	22			Violeta		nararanja	L311	B				
	23			Rosa	Cable 12	azul	L312	A				
	24			Aqua		nararanja	L312	B				
	25			Azul	Cable 13	azul	L313	A				
	26			Naranja		nararanja	L313	B				
	27			Verde	Cable 14	azul	L313	A				
	28			Cafe		nararanja	L313	B				
	29			Gris	Cable 15	azul	L314	A				
	30			Blanco		nararanja	L314	B				
	31			Rojo	Cable 16	azul	L314	A				
	32			Negro		nararanja	L314	B				
	33			Amarillo	Cable 17	azul	L315	A				
	34			Violeta		nararanja	L315	B				
	35			Rosa	Cable 18	azul	L315	A				
	36			Aqua		nararanja	L315	B				
	37			Azul	Cable 19	azul	L316	A				
	38			Naranja		nararanja	L316	B				
	39			Verde	Cable 20	azul	L316	A				
	40			Cafe		nararanja	L316	B				
	41			Gris	Libre para crecimiento							
	42			Blanco								
	43			Rojo								
	44			Negro								
	45			Amarillo								
	46			Violeta								
	47			Rosa								
	48			Aqua								

Continuación de apéndice 1.

ODF en Cuarto de equipos	Numero de puerto en ODF	Numero de cable Troacal	Cuarto de distribución	Buffer dentro de cable backbone	Hilo dentro buffer	Cable Horizontal desde distribución	hilo de cable horizontal	Numero de local	Puerto en local		
ODF No.1	41	Cable No.1	TR-S1	Café	Griz	Cable 21	azul	L102	A		
	42				Blanco		naranja	L102	B		
	43				Rojo	Cable 22	azul	L102	A		
	44				Negro		naranja	L102	B		
	45				Amarillo	Cable 23	azul	L103	A		
	46				Violeta		naranja	L103	B		
	47			Rosa	Cable 24	azul	L104	A			
	48			Áqua		naranja	L104	B			
	49			Azul	Gris	Cable 25	azul	L105	A		
	50			Naranja			naranja	L105	B		
	51			Verde			Cable 26	azul	L106	A	
	52			Cafe				naranja	L106	B	
	53			Griz			Cable 27	azul	L107	A	
	54			Blanco				naranja	L107	B	
	55			Rojo			Cable 28	azul	L108	A	
	56			Negro				naranja	L108	B	
	57			Amarillo			Cable 29	azul	L109	A	
	58			Violeta				naranja	L109	B	
	59			Rosa			Cable 30	azul	L110	A	
	60			Áqua				naranja	L110	B	
	61			Azul			Blanco	Cable 31	azul	L111	A
	62			Naranja					naranja	L111	B
	63			Verde				Cable 32	azul	L112	A
	64			Cafe					naranja	L112	B
	65			Griz				Cable 33	azul	LS101	A
	66			Blanco					naranja	LS101	B
	67			Rojo	Cable 34	azul		LS102	A		
	68			Negro		naranja		LS102	B		
	69			Amarillo	Cable 35	azul		LS103	A		
	70			Violeta		naranja		LS103	B		
	71			Rosa	Cable 36	azul		LS104	A		
	72			Áqua		naranja		LS104	B		
	73			Azul	Rojo	Cable 37	azul	ADMIN	A		
	74			Naranja			naranja	ADMIN	B		
	75			Verde		Cable 38	azul	ADMIN	A		
	76			Cafe			naranja	ADMIN	B		
77	Griz	Libre para crecimiento									
78	Blanco										
79	Rojo										
80	Negro										
81	Amarillo										
82	Violeta										
83	Rosa										
84	Áqua										
85	Azul										
86	Naranja										
87	Verde										
88	Cafe										
89	Griz										
90	Blanco										
91	Rojo										
92	Negro										
93	Amarillo										
94	Violeta										
95	Rosa										
96	Áqua										

Fuente: elaboración propia.