



# UCASAL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

Facultad de Ingeniería

Carrera: Ingeniería en Telecomunicaciones

PROYECTO FINAL DE GRADO

## **DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA EL TRANSPORTE DE STREAMING DE VIDEO HACIA UN SISTEMA DE SEGURIDAD POR VIDEOVIGILANCIA GUBERNAMENTAL.**

Alumnos:

Echenique Toran, Rodolfo Gabriel

Le Favi, Lucas Nahuel

Director:

Ing. Vargas, Pablo Sebastian

**SALTA - 2019**

**INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**



Director: **Ing. Pablo Sebastian Vargas**

Firma: .....

Tribunal Evaluador:

.....

Firma:.....

.....

Firma:.....

.....

Firma:.....

Fecha de Exposición del Trabajo: .....

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Ricardo y Sandra, hermanos Facundo y Ariel, tía Elsa y abuela Socorro por todo el apoyo recibido de su parte, por confiar y creen en mi, alentandome a siempre salir adelante. Tambien agradecer a mi pareja Gabriela, ya qué juntos empezamos este camino y con su ayuda pude avanzar y llegar hasta donde estoy hoy.*

*--Rodolfo G. Echenique Toran*

*No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mis padres Raúl y Marta, mis hermanos Federico, Guillermo, Ezequiel y Franco y a mí segunda mama Abi.*

*-- Lucas N. Le Favi*

*Gracias a Dios y a todos nuestros profesores tanto de la primaria, secundaria como en la universidad por permitirnos abrir la mente y con su ayuda poder ir sorteando todos los obstáculos qué se presentan en la vida*

*-- Lucas N. Le Favi & Rodolfo G. Echenique Toran*

## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCION</b>	<b>12</b>
1.1 Planteamiento del Problema	12
1.2 Delimitación del Problema	13
1.3 Hipótesis	13
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo General	13
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 Justificación	14
1.6 Metodología	14
1.6.1 Método Experimental:	14
1.6.2 Método Deductivo:	15
1.7 Técnica	15
1.8 Descripción de la Propuesta	15
<b>CAPÍTULO 2: PRINCIPIOS DE FIBRA ÓPTICA</b>	<b>18</b>
2.1 Principios de propagación en Fibras Ópticas	18
Ley de Snell: La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda, cuando pasa de un medio a otro.	
19	
2.2 Características de la Luz en la Fibra Óptica	19
2.2.1 Luz visible	19
2.2.2 Luz invisible	19
2.3 Fuentes de Luz	20
2.3.1 Fuente LED	20
2.3.1.1 Características de una fuente LED	20
2.3.2 Fuente Láser (LD: Láser Diode)	20
2.3.2.1 Características de una fuente LÁSER	21
2.4 Detectores de luz	21
2.5 Longitudes de onda de operación	22
2.6 Ventana óptica de operación	22
2.6.1 Primera ventana de operación óptica	23
2.6.2 Segunda ventana de operación óptica	23
2.6.3 Tercera ventana de operación óptica	24
2.6.4 Cuarta ventana de operación óptica	24
2.7 Composición del material de la fibra óptica	24
2.8 Tipos de Fibras Ópticas	25
2.9 Características de la Fibra Monomodo	26
2.10 Tipos de Fibra Monomodo	27

2.11 Atenuación en Fibra Óptica	28
2.11.1 Factores Intrínsecos	28
2.11.1.1 Dispersión	28
2.11.1.2 Absorción	30
2.11.1.3 Micro curvaturas	30
2.11.2 Factores Extrínsecos	31
2.11.2.1 Pérdida en curvatura	31
2.11.2.2 Pérdida debido al empalme	31
2.11.2.3 Pérdida debido a conectores	34
2.11.2.3.1 Excentricidad en el núcleo de la férula del conector	34
2.11.3 Empalme entre fibras ópticas	35
2.11.3.1 Unión por conectores	36
2.11.3.2 Conectores	36
2.12 Desventajas en el uso de fibras ópticas	38
<b>CAPÍTULO 3: GPON</b>	<b>40</b>
3.1 ¿GPON y FTTX es lo mismo?	40
3.2 Arquitecturas de FTTX	42
3.3 ¿Cómo funciona GPON?	42
3.3.1 Canal Descendente	43
3.3.2 Canal Ascendente	44
3.4 Ventajas de las redes ópticas pasivas	45
3.5 Equipos Activos PON	46
3.6 Gestión de Ancho de Banda	47
3.7 Optimización de una implementación PON	48
3.8 Características y técnicas	48
<b>CAPÍTULO 4: DISEÑO E INGENIERÍA</b>	<b>51</b>
4.1 Puntos de Conexión del Proyecto	51
4.2 Pre Diseño de conexión	51
4.2.1 Determinación de puntos	51
4.2.2 Concentración	52
4.2.2.1 PDO (Punto de Distribución Óptica)	54
4.2.2.1.1 Distribuidor Óptico Simétrico	54
4.2.2.1.2 Distribuidor Óptico Asimétrico	58
4.2.3 Interconexión	60
4.3 Relevamiento	62
4.4. Toma de decisión y Diseño Preliminar	64
4.4.1 Toma de decisión	64
4.4.2 Diseño Preliminar	64
4.5 Ingeniería del Proyecto	66
4.5.1 Potencia de Salida de la OLT	69

4.5.2 Cálculo de Potencia Óptica	70
4.6 Diseño Definitivo e Informe Final	74
<b>CAPÍTULO 5: MATERIALES Y MARCAS</b>	<b>80</b>
5.1 Materiales del Proyecto	80
5.1.1 Lista de materiales de un proyecto de Fibra Óptica	81
5.1.1.1 Materiales Ópticos Pasivos	82
5.1.1.2 Materiales Ópticos Activos	83
5.1.1.3 Materiales de Soporte	84
5.1.2 Descripción de materiales	84
5.2 Elección de Marcas	
5.2.1 Elección de equipos activos	95
5.2.2 Elección de materiales pasivos y herrajes	100
5.2.2.1 Elección de la Fibra Óptica y Elementos ópticos pasivos	100
5.2.2.2 Herrajes de Fibra Óptica	102
<b>CAPÍTULO 6: LEGALES Y SEGURIDAD</b>	<b>104</b>
6.1 Convenios Legales	104
6.2 Tendido aéreo	104
6.3 Acuerdos con empresas propietarias de postes	104
6.3 Colocación de postes propios	105
6.4. Medidas de Seguridad	106
6.4.1 Detalle del Tendido	106
6.4.2 Señalización y segurización en la vía pública	112
6.5 ENACOM	112
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>116</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Código de Color de Fibra Óptica	24
Tabla 4.1. Valores típicos de Divisores Ópticos Simétricos	58
Tabla 4.2. Valores típicos de Divisores Ópticos Simétricos (2)	58
Tabla 4.3 Planilla de Relevamiento	63
Tabla 4.4. Pérdida por inserción de Divisor Óptico Simétrico	71
Tabla 4.5. Pérdida por inserción Divisor Óptico Asimétrico	72
Tabla 5.1. Análisis de requerimientos de cámaras de Seguridad	81
Tabla 5.2. Listado de Cajas NAP por distribución GPON	81
Tabla 5.3. Lista de Materiales Ópticos Pasivos	82
Tabla 5.4. Lista de Materiales Ópticos Activos	83
Tabla 5.5. Tabla de Materiales de Soporte de Fibra Óptica	84

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1. Diagrama simplificado de Conexiones	16
Figura 2.1 . Reflexión y Refracción de la Luz	18
Figura 2.2. Espectro de Luz	19
Figura 2.3. Diferencia entre luz generada por LED y LASER	21
Figura 2.4. Ventanas de Longitudes de Onda	23
Figura 2.5. Composición de la Fibra Óptica	25
Figura 2.6. Comparación Dispersión de Rayleigh y Dispersión por impurezas	29
Figura 2.7. Micro curvatura en Fibra Óptica	30
Figura 2.8. (de izquierda a derecha) Fibra óptica limpia, fibra óptica con grasa y fibra óptica con polvo	32
Figura 2.9. Cortador transversal de fibra óptica (cleaver)	32
Figura 2.10. Visión de un corte bien realizado (izquierda) y un corte mal realizado (derecha), observado en una fusionadora de fibra óptica	33
Figura 2.11. Discos de corte de cliver con sus diferentes ángulos de corte según el fabricante	33
Figura 2.12. Burbuja en fusión de fibra óptica	34
Figura 2.13. Conectores de Fibra Óptica	37
Figura 3.1. Empresa promocionando sus productos de fibra óptica	40
Figura 3.2. Arquitecturas más comunes de redes FTTX	41
Figura 3.3. Red GPON	43
Figura 3.4. Canal Descendente de arquitectura GPON	44
Figura 3.5. Canal Ascendente de Arquitectura GPON	45
Figura 3.6. Gestión de Ancho de Banda en sistema GPON	47
Figura 4.1. Puntos de Cámara Determinados por el cliente	52
Figura 4.2. PDO con conexiones a puntos de cámara	53
Figura 4.3. Topologías PON	55
Figura 4.4. Analogía de Red Eléctrica	55
Figura 4.5. Conexión Óptica	56

Figura 4.6. División de energía eléctrica	56
Figura 4.7. División de energía Óptica	57
Figura 4.8. Arquitectura de red PON Asimétrica	60
Figura 4.9. Valores típicos de Divisores Ópticos Asimétricos	60
Figura 4.10. Interconexión de PDOs	62
Figura 4.11. Diseño Preliminar completo	65
Figura 4.12. Datasheet Fibra Óptica EXO	67
Figura 4.13. Características de Fibra Óptica EXO	67
Figura 4.14. Características Fibra Óptica 3M	68
Figura 4.15. Características Fibra Optica Prysmian	68
Figura 4.16. Resultado de cálculo de PDO	73
Figura 4.17. Resultado completo de PDO(2)	73
Figura 4.18. Nomenclatura de PDO	74
Figura 4.19. Modelo Simplificado de Capas de Transporte de red GPON	76
Figura 4.20. Diseño esquemático final de la red GPON	77
Figura 4.21. Modelo simplificado de redundancia de la red	78
Figura 5.1. Rollo de Fibra Óptica	85
Figura 5.2. Botella de Empalme	85
Figura 5.3. Caja de Acceso	86
Figura 5.4. Divisor Óptico Simétrico	86
Figura 5.5. Divisor Óptico Asimetrico	87
Figura 5.6. Conector Rápido	87
Figura 5.7. Acoplador de Fibra Óptica	88
Figura 5.8. Rollo de Fibra Óptica Drop	88
Figura 5.9. Distribuidor de Fibra Óptica	89
Figura 5.10. Patchcord de Fibra Óptica (Tipo LC/UPC - LC/UPC Duplex)	89
Figura 5.11. Terminal de Línea Óptica	90
Figura 5.12. Terminal de Red Óptica	90

Figura 5.13. LAN Switch o Switch de Capa 3	91
Figura 5.14. SFP (Small form-factor pluggable)	91
Figura 5.15. GPON SFP	92
Figura 5.16. Herraje de Suspension	92
Figura 5.17. Herraje de Retención	92
Figura 5.18. Cruz de Ganancia	93
Figura 5.19. Fleje Metalico	93
Figura 5.20. Herraje de Retención Drop	94
Figura 5.21. Grampa tipo Fratacho	94
Figura 5.22. Roseta de Fibra Óptica	95
Figura 5.23. OLT Huawei MA5800-X7	96
Figura 5.24. OLT FiberHome AN5516-06	97
Figura 5.25. OLT V-SOL V1600G1	98
Figura 5.26. OLT Fiber UF-OLT-8	99
Figura 5.27. Línea de Fibra Óptica de la empresa EXO Telecomunicaciones	101
Figura 5.28. Complementos Ópticos Línea EXO Telecomunicaciones	101
Figura 6.1. Tendido de Fibra Óptica en terreno libre y calles	107
Figura 6.2. Tendido de Fibra Óptica sobre avenidas o rutas	107
Figura 6.3. Separación de la fibra óptica de la Baja Tensión	108
Figura 6.4. Separación de la fibra óptica de la Media Tension	108
Figura 6.5. Giro con herraje de Retención	109
Figura 6.6. Vano de Fibra Óptica entre postes	109
Figura 6.7 Especificaciones de Fuerzas aplicadas al vano de la fibra óptica	110
Figura 6.8. Preformado de retención o anclaje	110
Figura 6.9. Preformado de suspensión de anclaje	111
Figura 6.10. Cruz o cruceta de ganancia colocada en poste en vía pública	111

## **ABSTRACT**

En el presente trabajo se propone el diseño una red de fibra óptica, capaz de realizar el transporte de información de streaming de video a través de dicha red hacia un sistema perteneciente a una zona llámese localidad, municipio, ciudad, o región. Para ello, se dividió la organización del trabajo en seis secciones:

Las primeras tres secciones establecen los parámetros del proyecto y los principios básicos de fibra óptica. Es importante establecer el funcionamiento básico de este medio de transporte, ya que en la actualidad, es el medio más utilizado tanto por grandes carriers, como pequeños ISP. Por lo tanto, se considera imperativo establecer los principios fundamentales del funcionamiento de esta tecnología para poder entender la aplicación que tendrá el mismo, dentro del proyecto.

En la sección cuatro se realiza el proceso de diseño e ingeniería, donde se establecen los parámetros que se consideran para poder llevar a cabo el proyecto. Esta etapa se realizó llevando a cabo estudios de casos de éxitos en otros proyectos similares. Donde no sólo intervienen criterios propios de materiales, sino también principios de diseños establecidos por diferentes empresas.

En la sección cinco se encuentra la descripción de los materiales y equipos necesarios para la implementación del proyecto, como así también los criterios de decisión de ciertos equipos frente a otros.

En la sección seis establece los parámetros fuera de la parte técnica, siendo estos parámetros legales que permiten que un proyecto de esta índole puede concretarse.

Por último, pero no por eso menos importante, describir que el alcance de dicho proyecto engloba el análisis del medio de transmisión de la información. No se enfoca el los equipos finales, siendo estos las cámaras, pc, servidores, etc. Ya que consideramos que esto podría analizarse en profundidad en un proyecto aparte, dejando de esta forma abierta una línea de investigación para futuros proyectos. De igual forma, del lado de servicios, sólo se limita hasta la conexión con la OLT e interconexión de OLT mediante Switch o LAN Switch según las especificaciones del mismo. Quedando abierta una línea de investigación para sumar servicios como ser VoIP, IPTV, Internet, etc.

*“No entiendes realmente algo a menos que seas capaz de explicárselo a tu abuela”*

Albert Einstein

Científico Alemán (1879 - 1955)

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCION

## 1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente, una sociedad se describe de la siguiente manera:

*Sociedad (del latín societas) es un concepto polisémico, que designa a un tipo particular de agrupación de individuos que se produce tanto entre los humanos (sociedad humana o sociedades humanas, en plural) como entre algunos animales (sociedades animales).*

*En ambos casos, la relación que se establece entre los individuos supera la manera de transmisión genética e implica cierto grado de comunicación y cooperación, que en un nivel superior (cuando se produce la persistencia y transmisión generacional de conocimientos y comportamientos por el aprendizaje) puede calificarse como "cultura".*

- Wikipedia

En toda sociedad, al hacerse con cierto número de habitantes, es inevitablemente que la misma comience a establecer sus normas, cultura, costumbres y leyes. Toda persona que forma parte de una sociedad debe atenerse a estas leyes para poder llevar una vida tranquila dentro de la misma. Sin embargo, existe un cierto porcentaje de la sociedad que no cumple con estas condiciones, ya sea por decisión propia o por factores externos. A estas personas se las conoce como delincuentes.

La delincuencia es un fenómeno social histórico mutable, cuyo estudio puede abordarse relacionándolo con determinadas contradicciones sociales como son las derivadas del incipiente desarrollo de la economía y de la vida social y particular de los individuos. Siempre ha estado condicionada por diversos factores, los que han variado en la medida en se profundiza en las investigaciones.

Por este motivo, es necesario que toda sociedad cuente con una institución dedicada a resguardar la seguridad de la misma. De aquí que nacen las fuerzas de seguridad, siendo la Policía la encargada de mantener el orden público y la seguridad de los ciudadanos mediante el monopolio de la fuerza, y que se encuentra sometida a las órdenes del Estado.

La mayoría de las fuerzas policiales son organizaciones casi militares, cuya principal obligación es disuadir e investigar crímenes en contra de las personas o que afecten el orden público, así como el arresto de sospechosos, e informe a las autoridades competentes. También es responsable de reportar ofensas menores por medio de citaciones que suelen terminar en el pago de

una fianza, usualmente por violaciones a las leyes de tránsito vehicular. Su administración puede ser centralizada a nivel nacional, o descentralizada, con fuerzas de policía local autónomas en gran medida.

Por mucho que se quiera, no es posible tener un personal policial en cada punto de la ciudad que conforma una sociedad para vigilar y controlar los actos incívicos que se producen. Hasta hace no mucho, las instituciones de seguridad no disponían de medios para mejorar esta problemática que se produce desgraciadamente en toda sociedad, debiendo en muchos casos desplegar agentes a ciertos puntos de la ciudad, descuidando otros, asumir el gasto de reposición o en el peor de los casos, dejarlo abandonado.

Gracias a las nuevas tecnologías, y con el avance de la video vigilancia, esta problemática genera un gran alivio a los cuerpos policiales, tanto en la prevención como en la resolución de casos.

## **1.2 Delimitación del Problema**

Este proyecto se define como una solución de video vigilancia en las localidades de Cachi, San Antonio de los Cobres y Cafayate como así también establece los parámetros necesarios, y a tener en cuenta para la implementación de este tipo de redes en cualquier localidad, ciudad, estado, provincia y/o región donde se desee brindar una solución a partir de medios ópticos.

## **1.3 Hipótesis**

A base de la experiencia obtenida a nivel seguridad, se puede destacar que en los lugares, llámese ciudad, pueblo, villa, comuna, localidad, o cualquier otro término para definir a un determinado territorio geográfico, el simple hecho de implementar controles visuales, condiciona a la mayoría de la sociedad que compone dicho territorio a mejorar sus actitudes y actividades por el simple hecho de saber que están siendo observados y controlados en los espacios públicos, sabiendo además que una mala acción puede tener repercusiones legales y dichos controles visuales pueden servir como prueba contundente.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar una red basada en medios ópticos para el transporte de streaming de video utilizando la tecnología GPON.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Establecer los parámetros legales para la implementación de un proyecto de video vigilancia.
- Determinar los equipos que serán necesarios para la aplicación de dicho proyecto.
- Establecer los costos que conlleva el proyecto.
- Determinar la ingeniería necesaria para llevar a cabo dicho proyecto.

## **1.5 Justificación**

Debido a que actualmente la inseguridad en país posee una tasa de incidencia bastante alta, el Ministerio de Seguridad de la provincia de Salta realizó una licitación pública para el proyecto de colocación de cámaras de seguridad en la provincia. Ya que los autores, se encuentran actualmente trabajando para este proyecto, se decidió establecer los parámetros con los que se definió dicho proyecto.

En virtud de que la licitación presentada por el Ministerio de Seguridad posee puntos, los cuales por razones válidas no pueden estar expuestos públicamente, los puntos mostrados en este proyecto se declaran de carácter ficticio para preservar el principio de confidencialidad de los mismos.

Cualquier modificación en el proyecto real que coincida en este proyecto es pura coincidencia.

## **1.6 Metodología**

Para el desarrollo y la implementación del sistema de video vigilancia mediante medios ópticos, se utilizaron las siguientes metodologías:

### **1.6.1 Método Experimental:**

Se aplicó el método experimental desarrollando pruebas preliminares con equipos de fibra óptica tanto activos como pasivos en un ambiente controlado.

### 1.6.2 Método Deductivo:

Mediante estudios realizados sobre el manejo de fibra óptica, las capacidades de la misma y su comportamiento en redes de transmisión de datos, se dedujeron los valores óptimos de los equipos a utilizar para realizar las interconexiones correspondientes y obtener un sistema eficiente en la transmisión de los datos de streaming.

## 1.7 Técnica

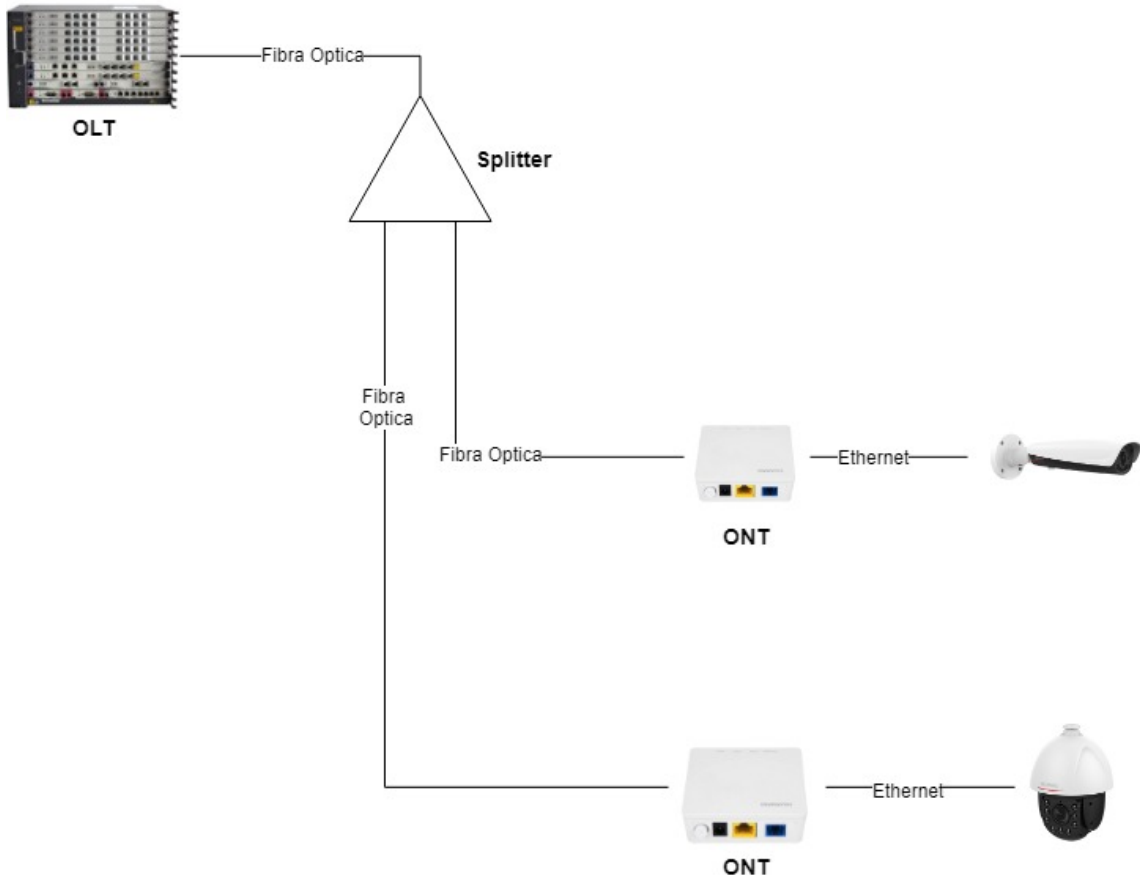
Se utilizaron las siguientes técnicas para el desarrollo de la investigación de este proyecto:

- **Técnica documental:** Para la realización de este proyecto se utilizaron varios tipos de investigación, como investigación de campo, donde se determinará característica física del sistema y medidas de seguridad al momento de la instalación, ubicación de cámaras. Investigación bibliográfica, donde se tomaron en cuenta otros sistemas similares para tener un soporte del desarrollo de los sistemas con otras tecnologías.
- **Técnica experimental:** Para la realización de este proyecto se utilizaron varios modelos de equipos, en los cuales se determinó las marcas y características de cada equipo a utilizar para cumplir con los objetivos del proyecto.

## 1.8 Descripción de la Propuesta

Debido a que la tecnología de video utilizada para la obtención de imágenes son cámaras de seguridad de alta calidad, en formato 4K, los autores decidieron, en base al gran ancho banda que se necesita para la transmisión de los datos, utilizar tecnología GPON, la cual utiliza medios ópticos para la transmisión de información.

Una simplificación de la conexión se especifica más abajo (Figura 1.1). Más adelante se analizarán cada uno de los equipos y las conexiones entre ellos.



*Figura 1.1. Diagrama simplificado de Conexiones*

# SECCIÓN I

## PRINCIPIOS DE FIBRA ÓPTICA

“Se dice que dos computadoras están interconectadas si pueden intercambiar información. No es necesario que la conexión se realice mediante un cable de cobre; también se pueden utilizar las fibras ópticas, las microondas, los rayos infrarrojos y los satélites de comunicaciones.”

Andrew S. Tanenbaum  
Profesor Estadounidense (1944 - actualidad)

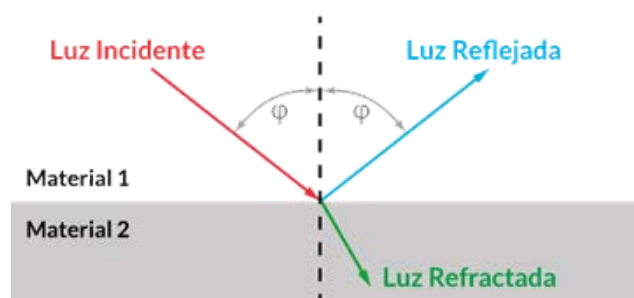
## CAPÍTULO 2: PRINCIPIOS DE FIBRA ÓPTICA

### 2.1 Principios de propagación en Fibras Ópticas

La fibra óptica es un sistema de transmisión de información. Está constituida por un conjunto de filamentos de vidrio o plástico normalmente. Se encarga de llevar mensajes en forma de haces de luz que atraviesan los filamentos sin interrupción. De esta forma hay mucho menos pérdida de información que en la transmisión electrónica.

El funcionamiento de la fibra óptica se basa en los aspectos básicos de la óptica. La luz puede sufrir efectos de reflexión, cuando rebota y cambia de dirección al incidir en otro medio, como cuando se refleja en un espejo, o de refracción, al pasar de un medio a otro y continuar su propagación, produciéndose un cambio en su velocidad en su dirección, como cuando vemos una cuchara torcida dentro de un vaso con agua. Dependiendo de la velocidad con la que se propaga en cada material, se establece un índice de refracción “n”.

En el caso de la fibra óptica se hace incidir la luz con un ángulo superior al ángulo límite, produciéndose reflexión total interna. El filamento de vidrio o plástico en el que inciden las ondas luminosas tiene un alto índice de refracción y el material que rodea este filamento tiene un índice de refracción ligeramente menor. Cuando la luz incide en una superficie de índice de refracción menor, se refleja en gran parte y mayor es el ángulo. De esta forma las ondas luminosas se van reflejando contra las paredes con ángulos muy amplios y así avanzan prácticamente por su centro no produciéndose pérdidas en largas distancias y aumentando la velocidad de transmisión.



*Figura 2.1 . Reflexión y Refracción de la Luz*

*Ley de Snell: La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda, cuando pasa de un medio a otro.*

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

## 2.2 Características de la Luz en la Fibra Óptica

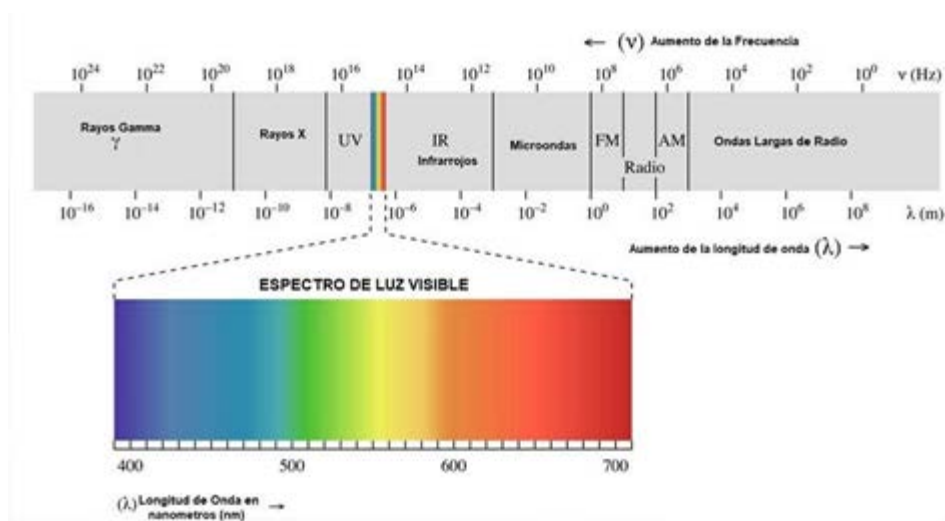
La que puede viajar a través de la fibra óptica se puede clasificar en:

### 2.2.1 Luz visible

- Radiación emitida por la fuente óptica que se percibe por el ojo humano.
- Longitud de onda (o frecuencia óptica) alrededor de 850 nm.
- Luz Roja (LED)

### 2.2.2 Luz invisible

- Radiación emitida por una fuente óptica que no se percibe por el ojo humano.
- La longitud de onda se inicia en 1310 nm.
- Percibido por equipo sensible a dicha radiación.



**Figura 2.2. Espectro de Luz**

## 2.3 Fuentes de Luz

### 2.3.1 Fuente LED

***LED: Un diodo emisor de luz o led (también conocido por la sigla LED, del inglés light-emitting diode) es una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado.***

Los electrones en un semiconductor se agrupan en bandas: de conducción y de valencia. Estas bandas están separadas por una zona prohibida llamada gap. En la banda de conducción los electrones pueden moverse libremente; en la de valencia, los huecos creados por los electrones se mueven libremente.

Cuando un electrón de conducción se recombina con un hueco de valencia, se libera energía. Estas recombinaciones pueden ser:

- Radiactivas: Se libera un fotón.
- No radiactivas: Se libera calor.

En un LED, los fotones son generados espontáneamente. Por tanto, no tienen la dirección definida; esto hace que muchos fotones no se inyecten en la fibra. Además, la luz generada es incoherente, así que sólo es posible la modulación directa o de amplitud.

#### 2.3.1.1 Características de una fuente LED

- Convierte la señal eléctrica en señal de luz (modulación)
- Emite luz sin la coherencia de baja potencia (sin directividad, es decir, la luz generada por el dispositivo no tiene un área delimitada de concentración)
- Los LED se construyen típicamente para emitir una longitud de onda alrededor de 850 nm o 1310 nm.
- Utilizados en sistemas ópticos de cortas distancias, especialmente con fibras multimodo.

### 2.3.2 Fuente Láser (LD: Láser Diode)

Láser es el acrónimo de amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. La emisión estimulada se produce cuando el diodo semiconductor es bombeado con fotones. Al pasar un fotón por el medio se genera otro fotón que tiene la misma frecuencia, fase y dirección que el primero. La luz generada es coherente y está focalizada.

La emisión estimulada no es un fenómeno que se produzca en equilibrio. Por eso hay que bombear el material con corriente eléctrica. Para que los fotones no se escapen del LD (excepto una cantidad que irá a la fibra) y puedan estimular nuevos fotones, se utilizan caras reflectantes en los bordes del LD.

Para que haya emisión láser tienen que cumplirse dos condiciones:

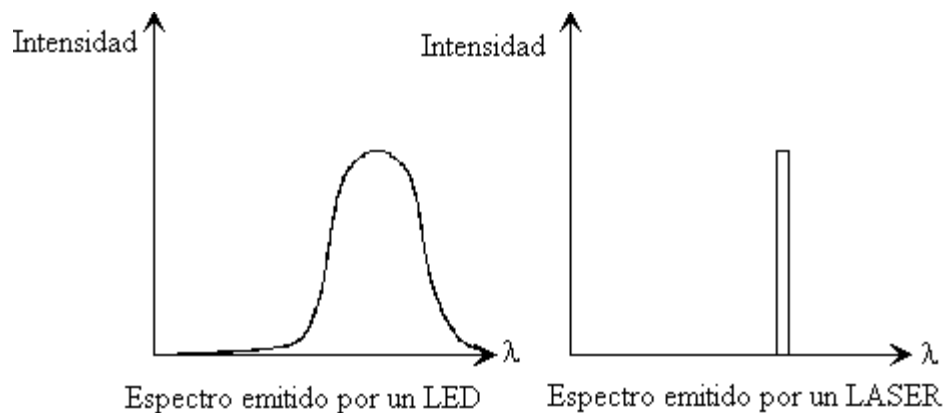
- **Condición de ganancia:** Tiene que haber, como mínimo, tantas ganancias como pérdidas.
- **Condición de fase:** No se puede transmitir con cualquier longitud de onda. Estos modos de transmisión dependen de las dimensiones del LD.

La combinación de estas dos condiciones determina los modos o longitudes de onda con los que transmite un LD. Un láser puede ser:

- **Monomodo:** Sólo transmite en un modo.
- **Multimodo:** Transmite en más de un modo.

### 2.3.2.1 Características de una fuente LÁSER

- Genera luz coherente, es decir, concentrada y de alta potencia.
- Con la luz de una fuente láser solo se ilumina una pequeña área alrededor de la mampara.
- Se utiliza para la luz que entra en fibras Monomodo que tienen un núcleo de aproximadamente 9 $\mu$ m
- Utilizado predominantemente en fibras Monomodo a largas distancias.
- Longitud de onda alrededor de 1310 nm, 1400 nm, 1550 nm y 1625 nm.
- Los principales tipos de fuentes de láser utilizados en sistemas de comunicaciones son:
  - Láser Fabry Perot
  - DFB Laser
  - Láser de modulación externa



*Figura 2.3. Diferencia entre luz generada por LED y LASER*

## 2.4 Detectores de luz

Un fotodetector es un sensor que genera una señal eléctrica dependiente de la luz u otra radiación electromagnética que recibe. Algunos están basados en el efecto fotoeléctrico, otros en el fotovoltaico, otros en la foto electroquímico y otros en la fotoconductividad.

Son dispositivos responsables de la demodulación, o la conversión de la señal de luz en señal eléctrica. Su sensibilidad para una longitud de onda está dada por el material con el que se construye.

Los detectores más sensibles son más caros y normalmente están presentes en equipos usados en enlaces de larga distancia.

Algunos ejemplos de estos equipos son:

- Detector de Fallas de Fibra Óptica
- Power Meter
- PON Power Meter
- OTDR

## 2.5 Longitudes de onda de operación

En los sistemas ópticos se utiliza el término longitud de onda hablar del canal de transmisión que se utiliza. Este término sirve para diferenciar fácilmente los sistemas que funcionan con señales eléctricas y los que operan con señales luminosas.

Debido a que las frecuencias son muy altas, no existen una limitación ellas, no así con la longitud de onda.

La relación entre la frecuencia y la longitud de onda es:

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

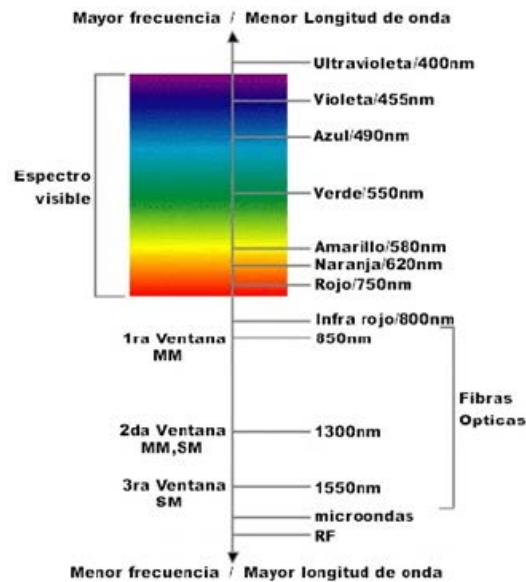
$\lambda$  (Lambda): Longitud de Onda, se mide en metros.

$c$ : Velocidad de la Onda, se mide en m/s

$f$ : Frecuencia, se mide Hz

## 2.6 Ventana óptica de operación

La Ventana de Operación, se refiere a la Longitud de Onda ( $\lambda$ ) seleccionada para el enlace por fibra óptica. La transmisión de fibra óptica utiliza longitudes de onda que se encuentran en la parte del espectro cercana al infrarrojo, justo por encima de la visible y, por lo tanto, indetectable a simple vista. Las longitudes de onda de transmisión óptica típicas son 850 nm, 1310 nm y 1550 nm.



*Figura 2.4. Ventanas de Longitudes de Onda.*

Las regiones bajo el espectro infrarrojo presentan la mejor posibilidad de propagación de longitud de onda, siendo las ventanas de propagación típica:

- Primera ventana de propagación óptica: rango entre 800 y 900 nm (opera a 850 nm)
- Segunda ventana de propagación óptica: rango entre 1260 y 1360 nm (opera a 1310 nm)
- Tercera ventana de propagación óptica: rango entre 1530 y 1560 nm (opera a 1550 nm)
- Cuarta ventana de propagación óptica: rango entre 1600 y 1650 nm (opera a 1625 nm)

### 2.6.1 Primera ventana de operación óptica

Este rango de trabajo de longitud de onda es característico en los sistemas en los que viaja poca información por una corta distancia.

Utiliza principalmente fibras multimodo de índice gradual y la fuente de luz utilizada para iluminar dicha fibra es el LED.

### 2.6.2 Segunda ventana de operación óptica

Este rango de trabajo de longitud de onda es utilizado por sistemas con medianas y grandes cantidades de información para una distancia corta.

Esta longitud de onda se puede utilizar con los sistemas que utilizan fibra óptica multimodo y fibras de modo único como medio de propagación (por ejemplo: Redes Gigabit Ethernet)

### 2.6.3 Tercera ventana de operación óptica

Este rango de trabajo de longitud de onda se utiliza para los sistemas que transportan muy altas cantidades de datos, tales como redes de área metropolitana (MAN) y redes de área amplia (WAN).

Esta ventana solo es operática en sistemas de fibra óptica Monomodo. Utiliza como fuente de luz un láser de alta potencia, láser DFB y de modulación externa.

### 2.6.4 Cuarta ventana de operación óptica

Este rango de trabajo de longitud de onda se utiliza de manera similar al utilizado en la tercera ventana, sin embargo, los enlaces son distancias más largas, como en el caso de cables submarinos, en donde el transmisor puede ser de aproximadamente 8000 km desde el receptor.

Se utiliza como fuente de luz, normalmente, el láser de modulación externa.

Esta ventana de operación es utilizada también para pruebas en fibras iluminadas.

## 2.7 Composición del material de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta esencialmente por 3 (tres) partes como se puede apreciar en la figura 6:

**Revestimiento:** Es una estructura de acrilato aplicado al revestimiento de la fibra óptica. Su función principal es proteger el recubrimiento y el núcleo de daños o accidentes externos. El recubrimiento se extrae cuando se realizan empalmes o conectores. Su tamaño estándar es de 250 µm y se lo puede encontrar en distintos colores con fines de identificación, siendo estos los colores estándares más utilizados:

Color	Ubicación	Código Hex
Azul	1	#0000FF
Naranja	2	#FFA500
Verde	3	#008000
Marrón	4	#A52A2A
Gris	5	#808080
Blanco	6	#FFFFFF
Rojo	7	#FF0000

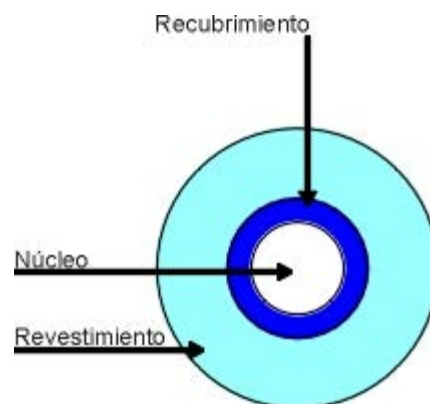
Negro	8	#000000
Amarillo	9	#FFFF00
Violeta	10	#EE82EE
Rosado	11	#FFC0CB
Turquesa	12	#40E0D0

*Tabla 2.1. Código de Color de Fibra Óptica*

**Recubrimiento:** Estructura maciza que rodea completamente el núcleo. El vidrio que la compone posee una alta pureza en su composición. Su densidad es menor que el vidrio que constituye el núcleo. Su función principal es el confinamiento de la luz dentro del núcleo. Su tamaño estándar es de 125  $\mu\text{m}$ .

**Núcleo:** Estructura maciza a través del cual la luz se propaga de manera eficaz. Posee un alto grado de transparencia y, dependiendo el tipo de fibra óptica, lo podemos encontrar en 2 (dos) formas:

- Fibra Monomodo (SM): 9  $\mu\text{m}$
- Fibra Multimodo (MM): 50  $\mu\text{m}$  o 62.5  $\mu\text{m}$



*Figura 2.5. Composición de la Fibra Óptica*

## 2.8 Tipos de Fibras Ópticas

La fibra óptica se puede clasificar por sus características de transmisión básicas, siendo estas:

**Fibra Óptica Multimodo:** Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

**Fibra Óptica Monomodo:** Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (10 Gbit/s).

## 2.9 Características de la Fibra Monomodo

La fibra óptica Monomodo se caracteriza por su tamaño muy pequeño en comparación con la fibra óptica multimodo, siendo la primera de 9  $\mu\text{m}$  y la segunda de 50 o 62.5  $\mu\text{m}$ . El hecho de establecer el valor del núcleo en 9  $\mu\text{m}$ , no implica que este valor es exacto, en la realidad, el valor puede variar entre 8  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  de diámetro. El índice núcleo/revestimiento asociado con ese pequeño núcleo solo permite que modo se propague a través de la fibra. Este formato permite ofrecer gran ancho de banda y actualmente el desarrollo de los láseres es más simple.

En cuanto a las características de transmisión, la fibra óptica Monomodo posee los siguientes valores de atenuación estándar:

- Alrededor de 0.3 dB/Km a 1310 nm de longitud de onda
- Alrededor de 0.18 dB/Km a 1550 nm de longitud de onda
- Alrededor de 0.23 dB/Km a 1625 nm de longitud de onda

*dB: Es la relación de pérdida de potencia de señal en su valor de salida, respecto de su entrada.*

Este tipo de fibra puede trabajar con las siguientes longitudes de onda:

- 1310 nm
- 1490 nm
- 1550 nm
- 1625 nm

Posee un ancho de banda de miles de THz, y la posibilidad de realizar enlaces de muy alta capacidad y larga distancia.

Este tipo de fibra óptica solo puede usarse con fuentes láser.

## 2.10 Tipos de Fibra Monomodo

**Fibra Monomodo Estándar (SMF):** Es una fibra óptica comercial estándar, la cual posee las siguientes características:

- Fibra óptica Monomodo que permite la operación a 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm.
- Permite de altas velocidades de transmisión de larga distancia.
- Para enlaces muy largos, su aplicación está limitada por la atenuación, porque su atenuación es significativamente mayor en 1310 nm que en 1550 nm.
- En la longitud de onda de 1310 nm presenta un ancho de banda significativamente mayor que 1550 nm.
- En la longitud de onda de 1550 nm presenta un ancho de banda limitado por las características significativamente mayores que la dispersión en 1310 nm.
- Permite transmitir múltiples canales ópticos simultáneamente en diferentes longitudes de onda (DWDM).
- Permite la utilización de amplificadores ópticas que aumentan la potencia óptica sin conversión opto-eléctrica.

### **Fibra Monomodo con dispersión desplazada (DSF):**

- La fibra de dispersión desplazada nos permite crear una ventana de transmisión con dispersión cromática nula en la región de 1550 nm, lo cual nos permite realizar una transmisión con menos pérdidas a mayor distancia.
- Por el contrario, este tipo de fibra no es ideal para la transmisión de datos múltiples, ya que la fibra es muy sensible a efectos lineales tales como el mezclado de ondas entre otros que no permite que la empleemos para la transmisión de varios canales, ni en aplicaciones como DWDM.
- Las fibras de dispersión o shifted fibers surgen para evitar las limitaciones en cuanto a la tasa de transmisión y las distancias permitidas, generando una solución para obtener una mayor distancia de transmisión

### **Fibra Óptica con dispersión desplazada no nula (NZDSF):**

- Evita los efectos no lineales cuando se someten a altas densidades de potencia por unidad de área.
- Puede ser utilizado en sistemas DWDM (creadas especialmente para este propósito).
- Posee un núcleo de 8  $\mu\text{m}$  menor en comparación con otros tipos de fibra óptica Monomodo.
- Debido a que el núcleo tiene pequeño tamaño, hace que en algunas aplicaciones DWDM no sea tan eficiente.

### **Fibra Óptica de dispersión plana (LWP):**

- Tipo de fibra óptica Monomodo que, al no tener el llamado pico de agua en la región de 1400 nm permite su ancho de banda de 1310 nm a 1625 nm.
- Permite una mayor capacidad de transmisión para los demás modos de transmisión.

## **2.11 Atenuación en Fibra Óptica**

*¿Qué es la atenuación?*

*En telecomunicación, se denomina atenuación de una señal, sea esta acústica, eléctrica u óptica, a la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión.*

*-- Wikipedia*

Se puede entender a la atenuación como el efecto que causa la pérdida de potencia óptica a lo largo de la fibra, es decir, una porción de la potencia óptica desaparece durante su propagación.

Existen dos factores que contribuyen a esta reducción de la potencia:

- **Factores intrínsecos:** son causados debido al propio material de la fibra óptica
  - Dispersión
  - Absorción
  - Micro curvaturas
- **Factores extrínsecos:** son causadas por agentes externos a la fibra óptica
  - Curvas y Pliegues
  - Fusiones
  - Conexiones

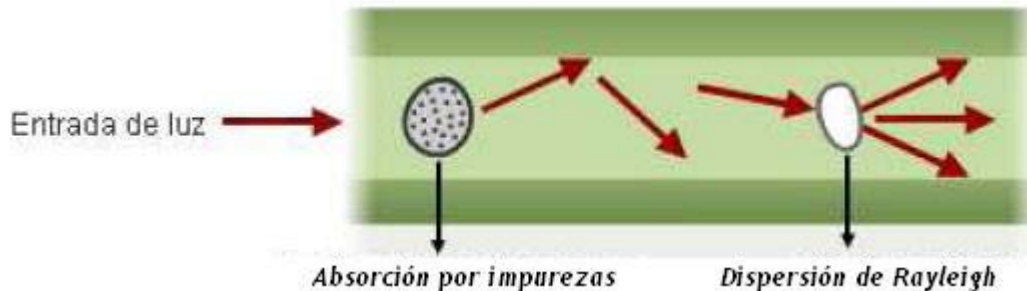
### **2.11.1 Factores Intrínsecos**

#### **2.11.1.1 Dispersión**

La dispersión es la división de un rayo de luz en varios otros debido a un obstáculo. La trayectoria de luz cambia y parte de la potencia contenida en el haz incidente se pierde. Este fenómeno convive con la atenuación de una señal guiada a través del núcleo de la fibra óptica. Es responsable por la amplificación del pulso de luz durante el tiempo de su propagación. La dispersión se divide en:

**Difusión Rayleigh:** Esta dispersión es más intensa con respecto a la alteración de la trayectoria de la luz y a efecto submicroscópico surge en la composición del vidrio y la densidad. El tamaño físico y la separación de estos defectos pequeños son muy pequeñas en comparación con la longitud de onda de la luz incidente, lo que resulta en una fluctuación en el valor del índice de

refracción del material a lo largo de la fibra. Este efecto de dispersión produce una onda retro dispersa hacia el principio de la fibra.



*Figura 2.6. Comparación Dispersión de Rayleigh y Dispersión por impurezas*

**Dispersión de Mie:** Este tipo de dispersión se produce debido a las imperfecciones o irregularidades en la fibra, cuyas dimensiones son mayores que 10% del tamaño de la longitud de onda. Estas imperfecciones son burbujas pequeñas e irregulares que se encuentran en la interfaz núcleo-revestimiento, variaciones en el diámetro de la fibra o arrollamientos en el eje de la fibra llamados “micro curvaturas”. Estos eventos a lo largo de la fibra son causados por fuerzas laterales externas y representan una causa importante de dispersión de Mie y son responsables de aumento significativo en la atenuación global.

**Dispersión de Raman:** La dispersión de Raman se produce por un alto campo eléctrico de la luz transmitida en el núcleo, o luz de alta intensidad. Esto se produce cuando la luz guiada en el núcleo sobrepasa el umbral mínimo de potencia, lo que provoca la aparición de diferentes longitudes de onda de los aplicados al comienzo de la fibra. Una parte de la potencia incidente se transfiere de un modo a otro de una manera diferente o adjunta a la frecuencia original. Este fenómeno se observa en fibras tipo Monomodo de gran longitud. Baja ciertas circunstancias, el efecto de la dispersión raman puede ser utilizado para proporcionar ganancia de potencia para una longitud de onda dada en la fibra óptica.

**Dispersión estimulada de Brillouin:** Este tipo de fenómeno se produce debido a la modulación de la luz por las vibraciones moleculares del vidrio. El efecto resultante de la introducción de la luz a las vibraciones del medio hace que las bandas de frecuencia originales separadas también aparezcan. La alta densidad de potencia óptica, es decir, el número de fotones por unidad de tiempo por unidad de área, obliga a la aparición de vibraciones más grandes a nivel molecular, estas interactúan con la luz guiada y causan un ángulo de dispersión de incidencia con respecto al plano medio de vibración. Por lo tanto, parte de la energía de longitud de onda se transfiere a estas bandas laterales.

Por otro lado, los componentes que interactúan entre si produciendo el ensanchamiento de pulso son:

**Dispersión Modal:** Este tipo de dispersión existe solo en el tipo de fibra multimodo (paso gradual) y es causado por varios caminos de propagación posibles (modos) que la luz puede tener en el núcleo. Los modos de alto orden (los que ejecutan camino más largo) necesitará más tiempo para salir de la fibra que los modos de orden más bajo.

**Dispersión cromática:** Se produce debido al hecho de que cualquier fuente de luz no emite una sola longitud de onda, siempre posee más componentes además de su longitud de onda primaria. La dispersión cromática en fibras Monomodo se reduce considerablemente ya que el láser tiene una anchura espectral muy pequeña.

### 2.11.1.2 Absorción

La absorción es el efecto de pérdida de energía de la luz debido a la transformación de esta energía en calor por la presencia de movimiento vibratorios, la presencia de impurezas, etc. La absorción se puede dividir en:

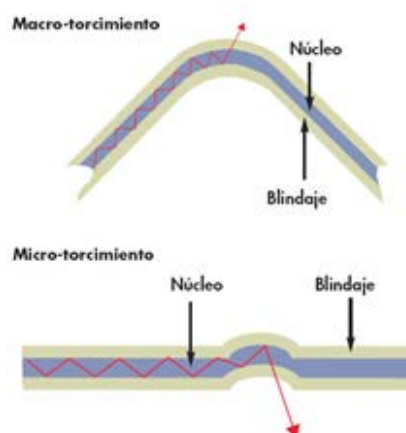
**Absorción material:** Es la pérdida resultante de la porción de la luz guiada que se disipa en forma de calor en el núcleo y en el revestimiento de la fibra. La causa de esta pérdida son las vibraciones en los niveles moleculares y la transición de los electrones entre los niveles de energía. En este caso, las vibraciones moleculares pueden convertirse en la dispersión Brillouin, donde la potencia de la señal incidente crece mucho hasta el punto de su desencadenamiento.

**Absorción por impurezas:** La presencia de iones en el cristal, que no forman parte de la composición del núcleo de la fibra óptica, son también causas importantes de la pérdida, ya que absorben parte de la energía de la luz guiada. Incluso una concentración de sólo unas pocas partes por millón o por billón pueden dar lugar a pérdidas considerables. Con las técnicas de fabricación actuales, se ha logrado hasta el alto grado de pureza, en muchos casos, sean insignificantes y despreciables. Este resultado se logró con fibras Monomodo a una longitud de onda de 1550 nm y 1310 nm inclusive.

### 2.11.1.3 Micro curvaturas

Las micro curvaturas son ondulaciones pequeñas cuyo tamaño es aproximadamente la longitud de onda incidente que ocurre en la interfaz núcleo-revestimiento.

Los modos guiados cuando chocan con esta superficie irregular, su trayectoria se dispersa junto con parte de su energía, originando nuevas trayectorias, que se originan nuevos modos, que terminan siendo refractados al revestimiento.



**Figura 2.7.** Micro curvatura en Fibra Óptica

## 2.11.2 Factores Extrínsecos

### 2.11.2.1 Pérdida en curvatura

La pérdida en curvatura de una fibra óptica da lugar a nuevos modos que pueden ser absorbidos por el revestimiento, parte de la potencia transportada por el ángulo de incidencia de los modos que está cerca del ángulo crítico puede ser refractado en el revestimiento.

La intensidad de la refracción para los modos superiores para el revestimiento depende de la intensidad de la curva, mientras menor es el radio de curvatura, mayor es la refracción en el revestimiento. Debido a esto, las curvas deben ser lo más suave posible para reducir su cuota de contribución a la atenuación total de la señal.

*En la práctica, se encontró que los radios de curvatura mayores de 5 cm causan pérdida insignificante en la fibra*

### 2.11.2.2 Pérdida debido al empalme

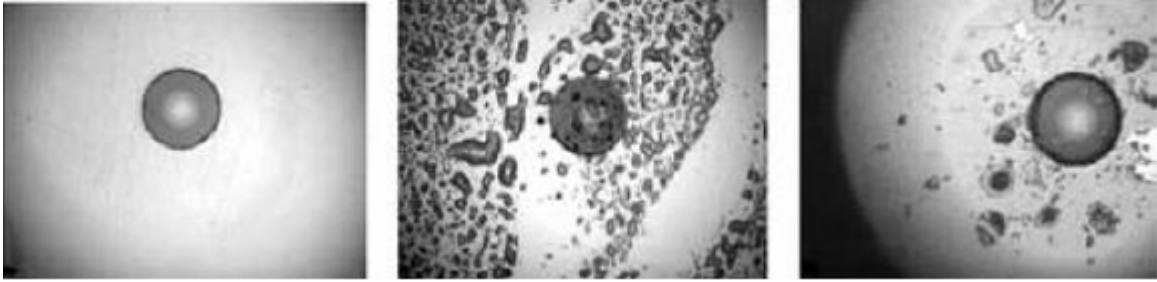
El empalme por fusión consiste en unir las dos fibras fundiendo el material de sus puntas mediante la aplicación de una fuente calorífica, que suele estar compuesta por dos electrodos entre los cuales se produce un arco eléctrico cuando se les aplica una fuente de alta tensión de 4000 a 5000 voltios con corriente controlada. La potencia calorífica del arco eléctrico dependerá de la corriente que en cada momento suministre la fuente de alta tensión.

Un empalme siempre incurre en una pérdida, esta puede ocurrir principalmente por los siguientes factores:

**Suciedad en la superficie de la fibra óptica:** La suciedad en la superficie de la fibra es uno de los principales problemas de pérdida de potencia, debido a que esta suciedad cubre la fibra, impidiendo el paso de los haces de luz, lo que lleva a pérdida de potencia óptica.

Estas impurezas pueden estar presente en el aire, como son:

- Residuos de acrilato en el revestimiento que cubre la fibra
- Restos de los dedos del técnico operador
- Otros



*Figura 2.8. (de izquierda a derecha) Fibra óptica limpia, fibra óptica con grasa y fibra óptica con polvo.*

**Corte defectuoso:** Un cliver es un instrumento utilizado para la fusión/empalme de fibra óptica. Este permite realizar un corte en la fibra a  $90^\circ$  perpendicular a la trayectoria de la fibra, esto con el objetivo que el empalme se realice de forma correcta. Un cliver defectuoso puede producir cortes no óptimos para un empalme, con lo que, al momento de hacer la fusión, si el equipo es de alta gama, puede detectar que el corte no es el correcto y rechazar la fusión a realizar, o bien, si el equipo no tiene este nivel de sensibilidad, realizar la fusión con una alta atenuación.

Estas fallas en los cortes se puede deber a la pérdida de filo en el disco de corte del cliver, una solución posible es cambiar el ángulo de corte del disco, pasando a otra posición de corte (entre 1 y 15), o realizar el reemplazo total del disco de corte.



*Figura 2.9. Cortador transversal de fibra óptica (cleaver)*

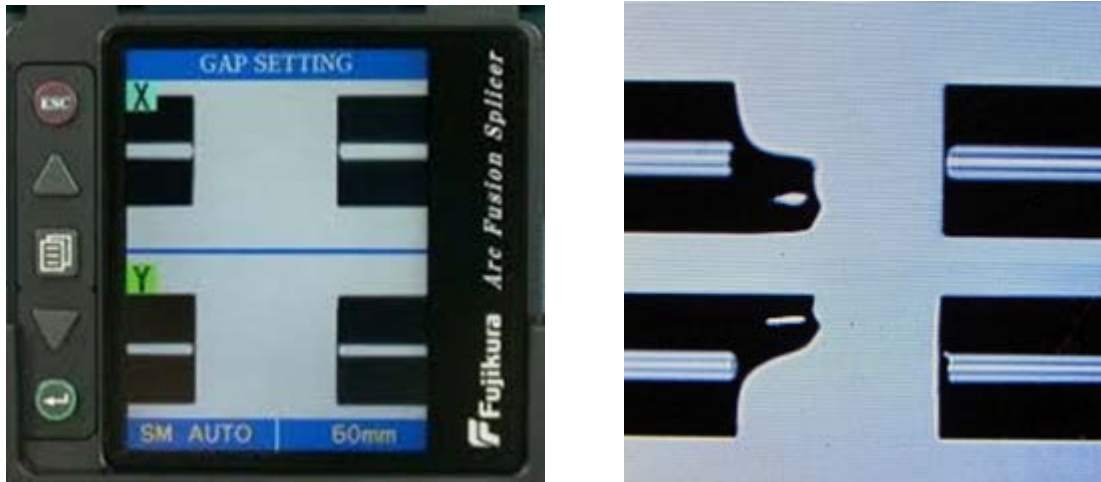
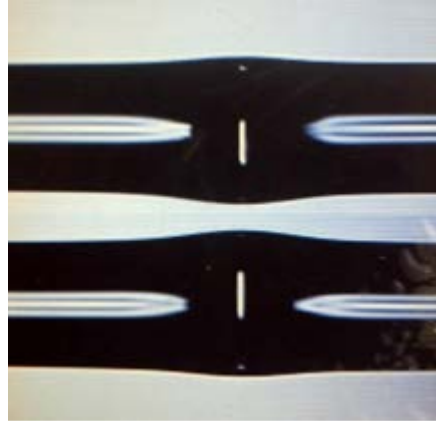


Figura 2.10. Visión de un corte bien realizado (izquierda) y un corte mal realizado (derecha), observado en una fusionadora de fibra óptica.



Figura 2.11. Discos de corte de cliver con sus diferentes ángulos de corte según el fabricante.

**Burbujas en el empalme:** La aparición de una burbuja tras una fusión, se debe a la presencia de suciedad o mal corte. Esta, permite que una porción significativa de la luz pase al siguiente segmento de fibra, la dirección de propagación a lo largo del eje de la fibra. En este punto, la fibra se vuelve opaca, bloqueando de este modo el paso de la luz.



*Figura 2.12. Burbuja en fusión de fibra óptica*

**Elipsoide del núcleo de la fibra:** La irregularidad en la circularidad del núcleo de una fibra es un factor de complicación, tanto para la fusión/empalme como la unión a través de conectores.

En cualquier caso, parte de la luz desde cualquier lado se centrará en el segmento de cubierta posterior, generando un aumento indeseable de pérdida significativa en este punto.

**Fibra de diferentes fabricantes:** Una unión entre dos fibras ópticas de diferentes fabricantes tiene una pérdida en el empalme de fusión porque más del 90% de los casos, la atenuación en ese punto será más alto que en el caso de empalme entre las fibras del mismo fabricante. La explicación de este hecho es que los diferentes fabricantes tienen diferentes índices de refracción que en última instancia representan diferentes núcleos y revestimientos.

Una fusión/empalme bueno posee un nivel de atenuación menor o igual a 0,1 dB.

### 2.11.2.3 Pérdida debido a conectores

Los conectores se utilizan para unir dos segmentos de fibra y, de forma similar a lo que ocurrió en las fusiones y empalmes, la unión de las fibras a través de conectores siempre implica una cierta pérdida. Estos, utilizados en fibras multimodo son más grandes que en fibras Monomodo. Esto se debe a que las condiciones de los requisitos mecánicos de conectores Monomodos son muchos más estrictos que para conectores multimodo.

#### 2.11.2.3.1 Excentricidad en el núcleo de la férula del conector

En un conector, la parte que permite el acercamiento entre las fibras es llamado férula. Observando un conector, es la varilla que se extiende hacia afuera de la parte central del conector, generalmente de color blanco. Esta aloja a la fibra en su centro, por lo tanto, a través de la inserción de dos conectores en el alineador permite acercarse y posicionar ambos para el paso de luz de una fibra a otra.

Si uno de los conectores tiene el núcleo ligeramente fuera del centro, pérdidas significativas se producen porque, en última instancia, los núcleos de las fibras estarán fuera de alineación.

#### 2.11.2.4 Excentricidad del núcleo de la fibra

La excentricidad del núcleo de la fibra indica que el núcleo está desplazado de su centro. Esto es debido al estiramiento de la fibra durante el proceso de fabricación. La consecuencia de esta condición es importante tanto para el empalme de fusión como para la unión por conexión.

En el caso de empalme por fusión, el problema radica en el hecho de que la máquina que realiza el empalme de alineación por el núcleo a la situación de empalme entre las fibras Monomodo. Sin embargo, si la excentricidad del núcleo de uno de los extremos es exagerada, la máquina no lograra el empalme porque en esta condición la estructura mecánica se vería comprometida con respecto a la rigidez mecánica.

En cuanto a la situación de la unión a través de conectores, la alineación es deteriorada, debido a la excentricidad del núcleo.

#### 2.11.3 Empalme entre fibras ópticas

Las uniones o las terminaciones de fibra óptica se realizan de dos maneras:

- **Con conectores**, que unen dos fibras para crear una unión temporaria y/o conectar la fibra a un equipo de red;
- **Con empalmes**, que crean una unión permanente entre dos fibras.

Ambos métodos de terminación deben tener dos características principales:

**Buen rendimiento óptico**, determinado por una atenuación baja (típico 0.2 a 0.02 dB) y una reflectancia mínima, y **alta resistencia mecánica** (cerca de 4 Kg de tracción).

Las terminaciones deben ser del estilo adecuado para que sean compatibles con el equipamiento utilizado y estén protegidas de los efectos nocivos del lugar de instalación.

Existen tres tipos de empalmes ópticos:

**Empalme por fusión:** Es el proceso por el que dos segmentos de fibra óptica se fusionan entre sí por medio de una descarga eléctrica producida por una máquina de fusión.

**Empalme mecánico:** Es el proceso en el que dos segmentos de fibra se unen mediante un conector mecanico-optico. En este tipo de empalmes, los procesos de limpieza, remoción y escisión son importantes para el proceso de fusión.

**Empalme por conectorización óptica** (Unión por conectores).

### 2.11.3.1 Unión por conectores

Los conectores son los dispositivos que permiten realizar uniones temporales de un punto a otro, también entre dos fibras o, más comúnmente, uniéndose a la fibra emisor o dispositivo fotodetector.

La calidad de la conexión está garantizada por la precisión mecánica con la que las partes que constituyen el conector óptico pueden colocar los extremos de la fibra, en particular su núcleo con respecto al cuerpo exterior del conector. Para unir dos conectores de fibra, se utiliza un revestimiento que consta de una hembra-hembra capaz de llevar a cabo doble cara adecuada para hacer frente a la alineación de las dos férulas simétricas.

El uso de conectores de unión fibra-fibra ofrece ventajas operativas sobre otras técnicas de empalme punto a punto, por ejemplo, la modificación por fusión, ya que en este caso se descartó el uso de equipos sofisticados o conocimientos técnicos específicos.

La elección de la técnica de unión a menudo depende no solo de los criterios de rendimiento, es decir, el nivel de pérdida de inserción proporcionada, sino que a veces existe la necesidad de conciliar las inversiones en técnica, equipos, infraestructura ya instalada, requieren el uso de un tipo de unión particular sobre otro para un mejor rendimiento.

Existen conectores de fibra multimodo y conectores de fibra Monomodo. Los primeros son más baratos y con tolerancias más altas como propiedades mecánicas en comparación con los Monomodo. Esto es debido a que los conectores Monomodo requieren una construcción mecánica más específica, ya que el núcleo de una fibra óptica es muy pequeño (Monomodo es más pequeño que multimodo), sin duda dificulta su alineación.

Un aspecto importante de los conectores es el tipo de esmalte en su férula, este puede ser:

- **Pulido plano (PC):** es el lado en el que el conector es un ángulo recto, idealmente  $90^\circ$  con el eje longitudinal de la fibra. Visualmente, por lo general se identifican por el color externo azul.
- **Pulido angular (APC):** tiene un ángulo de  $8^\circ$  entre la cara del conector y el eje longitudinal de la fibra. Con este ángulo se obtiene una gran reducción de la pérdida por reflexión. Visualmente, este tipo de pulido se identifica por el color verde.

### 2.11.3.2 Conectores

Desde que la tecnología de fibra óptica fue introducida a fines de los años setenta, se han desarrollado numerosos tipos de conectores, probablemente más de 100 tipos. Cada diseño nuevo intentaba ofrecer un mejor desempeño (menos pérdida de luz y de reflectancia) y terminaciones más simples, rápidas y/o más económicas.

Por supuesto, el mercado es el que con el tiempo determina cuáles son los conectores eficaces, aunque se ha intentado en varias oportunidades estandarizar los conectores. Algunos son únicos para ciertos sistemas o redes, por ejemplo, la FDDI (interfaz de datos distribuida por fibra) la primera red de área local LAN, y el ESCON, la interfaz para conectar los servidores centrales (mainframe) de IBM a periféricos, necesitaban conectores especiales. La norma TIA 568 originalmente determinaba que los conectores SC eran los estándares, pero luego cuando los usuarios comenzaron a utilizar más los conectores ST que los SC y una nueva generación de conectores más pequeños fue introducida, la norma TIA-568B fue modificada y estableció que se aceptaba cualquier conector que fuese respaldado por las normas de FOCIS.

A pesar de que a través de la historia de la fibra óptica se han desarrollado más de cien tipos de conectores, solamente los tres conectores que se muestran aquí, los SC, LC y ST son los conectores de fibra que más se utilizan hoy en día.



*Figura 2.13. Conectores de Fibra Óptica.*

El conector ST (marca registrada de AT&T) fue uno de los primeros conectores que utilizan férulas cerámicas y todavía uno de los conectores más populares para las redes multimodo, mayormente para edificios y campus. Tiene una montura de bayoneta y una férula larga y cilíndrica para sostener la fibra. La mayoría de las férulas son de cerámica, pero hay algunas de metal o de plástico. Como tienen un resorte, debe asegurarse de que se inserten correctamente. Si tiene pérdidas altas, vuelva a conectarlos para ver si hay alguna diferencia.

El conector SC es un conector snap-in muy utilizado en los sistemas monomodo por su excelente desempeño y en los sistemas multimodo porque fue el primer conector elegido como estándar por la norma TIA-568 (ahora se acepta cualquier conector aprobado por las normas FOCIS). Es un conector snap-in que se ajusta con un mecanismo simple de push-pull (que previene la desconexión accidental). También está disponible en una configuración dúplex.

El LC es un conector relativamente nuevo que utiliza una férula de 1.25 mm, la mitad del tamaño del ST. Se utiliza generalmente en formato dúplex. Es un conector estándar de férula cerámica, que puede colocarse con cualquier adhesivo. Dado que tiene un buen desempeño, es el conector más preferido para monomodo y es el elegido para los transceivers multimodo para velocidades gigabit o mayores, incluso para Ethernet multimodo y canales de fibra.

## 2.12 Desventajas en el uso de fibras ópticas

Algunas de las desventajas del uso de la fibra óptica son las siguientes:

- **Aplicación limitada:** El cable de fibra óptica sólo se puede utilizar en tierra y no puede separarse del suelo ni funcionar con la comunicación móvil.
- **Baja energía:** Las fuentes de emisión de luz están confinadas a una potencia baja. Si bien existen emisores de alta potencia que mejoran el suministro de energía, ello supondría un costo adicional.
- **Fragilidad:** La fibra óptica es bastante frágil y más vulnerable a los daños en comparación con los alambres de cobre. Es mejor no torcer o doblar los cables de fibra óptica.
- **Imposibilidad de alimentación remota:** Los sistemas con fibra ópticas requieren fuente de alimentación independiente para cada repetidor de energía, a distancia no es posible a través del medio de transmisión en sí.

## **SECCIÓN II**

### **DEFINICIÓN DE GPON**

## CAPÍTULO 3: GPON

### 3.1 ¿GPON y FTTX es lo mismo?

Hoy en día con el avance de las tecnologías y las mismas estando al alcance de las empresas, incluso de las Pymes recién iniciadas es muy común que por promocionar sus productos de una forma un poco más atractiva al público utilizan nombres tecnológicos para brindarle más importancia a los mismo.



The slide features a background image of green fiber optic cables. On the left, the text 'FTTX GPON' is written in large white letters. The SBE TECH logo is in the top right. The main title is 'Solución de infraestructura de red óptica pasiva FTTX'. Below it, the 'TEMARIO:' (Agenda) is listed with five bullet points: 'Introducción', 'Elementos de una PON (Passive Optical Network)', 'Que es GPON', 'Solución SBE TECH de ODN para redes FTTX', 'Casos de éxito', and 'Socios comerciales'. The date and time '13 de Abril 2018 10:00 am (Hora CDMX)' are in the bottom right, along with a 'REGISTRO' button. The Intelleg Networks logo is in the bottom left.

*Figura 3.1. Empresa promocionando sus productos de fibra óptica*

Sin embargo, es necesario para fines de este proyecto diferencia lo que es la tecnología GPON del estándar FTTx.

*La tecnología de telecomunicaciones FTTx (del inglés Fiber to the x) es un término genérico para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica que sustituya total o parcialmente el cobre del bucle de acceso. El acrónimo FTTx se origina como generalización de las distintas configuraciones desplegadas (FTTN, FTTC, FTTB, FTTH...), diferenciándose por la última letra que denota los distintos destinos de la fibra (nodo, acera, edificio, hogar...).*

-- Wikipedia

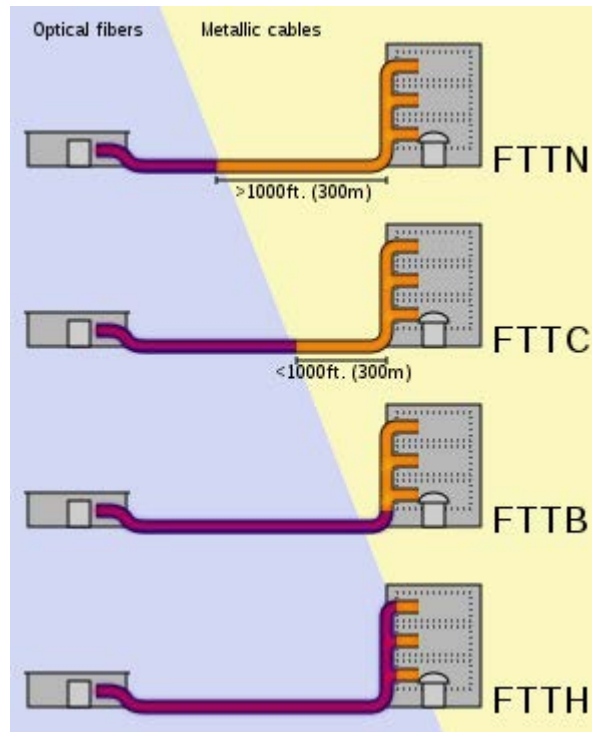


Figura 3.2. Arquitecturas más comunes de redes FTTX

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network en inglés) es una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica para llegar hasta el suscriptor. Sus estándares técnicos fueron aprobados en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5. Todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad. Se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbit/s.

--Wikipedia

De este modo se puede relacionar a GPON con FTTX mediante la siguiente afirmación:

Un proyecto FTTX determina el alcance de una red, los objetivos que tiene una empresa, organización o proyecto sobre una red de fibra óptica, mientras que GPON determina los estándares que se va a utilizar para diseñar dicha red.

Es importante tener este concepto en cuenta más adelante cuando se realice el cálculo de cada elemento pasivo que compone la red GPON de cámaras. Ya que no por la complejidad del mismo proyecto, no todo se podrá basar en FTTH, sino que también se utilizan otras tecnologías como Radioenlace, donde el concepto de FTTH no podrá ser aplicado. Sino que se aplicaran otros como FTTN y FTTO.

## 3.2 Arquitecturas de FTTX

La industria de las telecomunicaciones diferencia distintas arquitecturas dependiendo de la distancia entre la fibra óptica y el usuario final. Las más importantes en la actualidad son:

**FTTH - (del inglés Fiber-to-the-home):** En FTTH o fibra hasta el hogar, la fibra óptica llega hasta el interior de la misma casa del abonado.

**FTTO - (del inglés Fiber-to-the-office):** En FTTO o fibra hasta la oficina, la fibra óptica llega hasta el interior de la misma oficina del abonado. Es básicamente igual a FTTH pero con configuraciones específicas para empresas (sin plataforma integrada de TV, pero con plataformas de Videoconferencia, VoIP, etc...).

**FTTB - (del inglés Fiber-to-the-building o Fiber-to-the-basement):** En FTTB o fibra hasta la acometida del edificio, la fibra óptica normalmente termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa mediante la tecnología VDSL2 (Very high bit-rate Digital Subscriber Line 2) sobre par de cobre o Gigabit Ethernet sobre par trenzado CAT6. De este modo, el tendido de fibra puede hacerse de forma progresiva, en menos tiempo y con menor coste, reutilizando la infraestructura del edificio del abonado.

**FTTP - (del inglés Fiber-to-the-premises):** Este término se puede emplear de dos formas: como término genérico para designar las arquitecturas FTTH y FTTB, o cuando la red de fibra óptica incluye tanto viviendas como pequeños negocios.

**FTTN - (del inglés Fiber-to-the-node):** En FTTN o fibra hasta el nodo, la fibra óptica termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta el servicio, suele estar más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio, por lo que en alguna bibliografía se asigna a la N la palabra neighborhood (vecindario).

**FTTC - (del inglés Fiber-to-the-cabinet o fiber-to-the-curb):** Similar a FTTN, pero la cabina o armario de telecomunicaciones está más cerca del usuario, normalmente a menos de 300 metros.

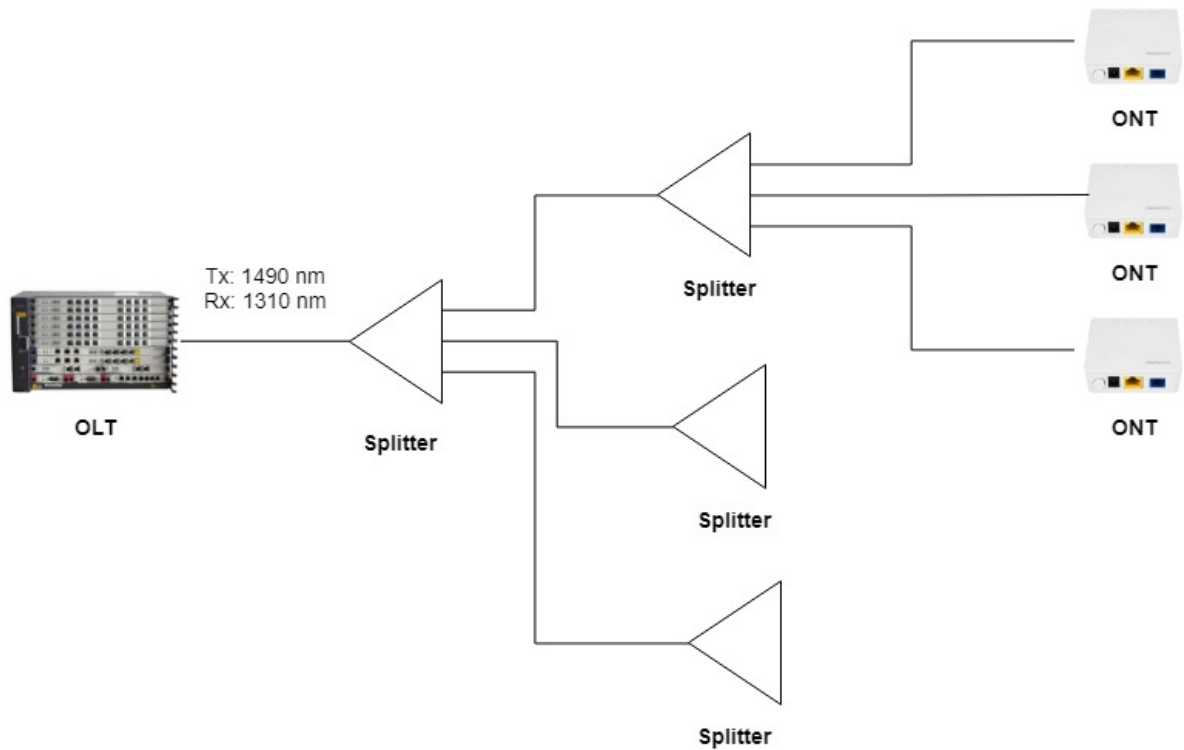
**FTTA - (Del inglés Fiber-to-the-antenna):** Fibra hasta la antena es una nueva generación de conexión de alto rendimiento de la estación hasta la antena, sobre los nuevos estándares de interfaz de radio como CPRI (Common Public Radio Interface) o OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative) por la demanda de RAN (Radio Access Network) de redes móviles LTE.

## 3.3 ¿Cómo funciona GPON?

Una red óptica pasiva (PON: Passive Optical Network) es una red punto-multipunto formada básicamente por:

- Sistema OLT (Optical Line Terminal): equipo activo localizado en las instalaciones del operador o nodo de acceso.
- Red de fibra óptica monofibra con topología árbol-rama y componentes pasivos.
- Divisor Óptico (Splitter).
- ONTs (Optical Network Terminal): equipo activo localizado en el domicilio del usuario o punto de conexión cliente.

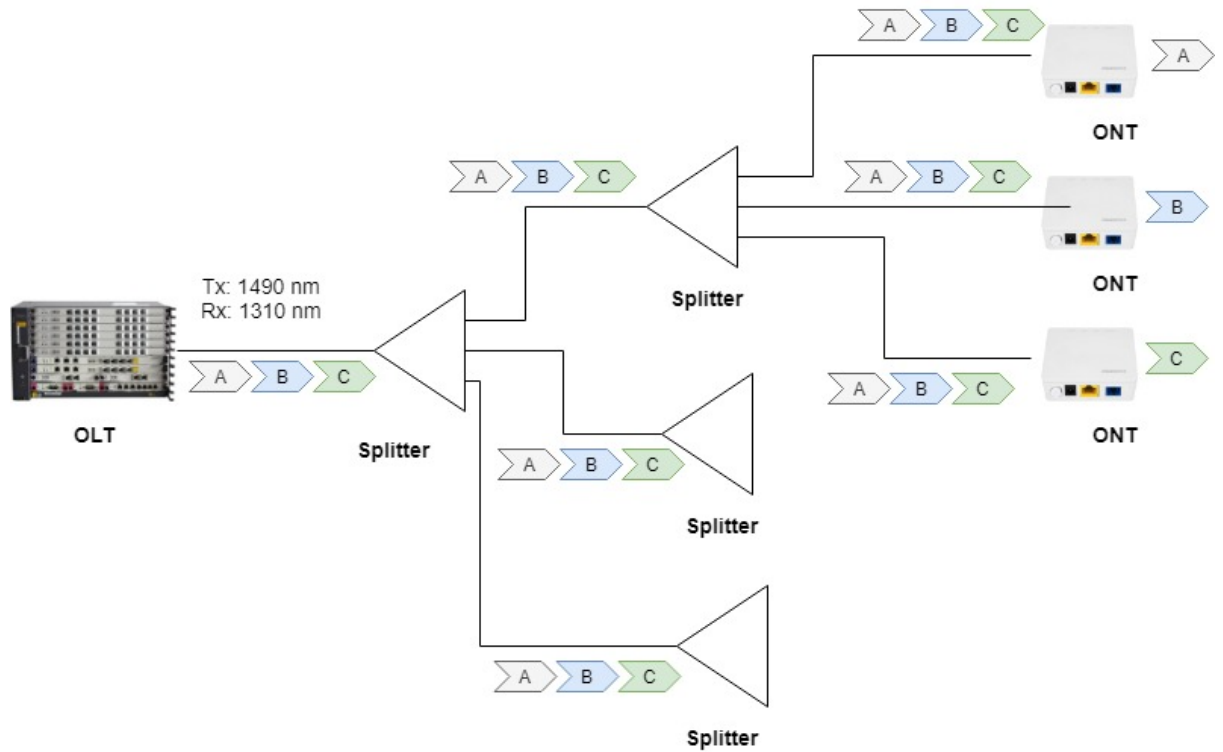
La transmisión se realiza entre OLT y múltiples ONTs utilizando la red de fibra óptica común. En esta red de fibra están presentes los divisores ópticos que son los responsables dividir y encaminar la señal procedente de la OLT a cada una de las ONT.



*Figura 3.3. Red GPON*

### 3.3.1 Canal Descendente

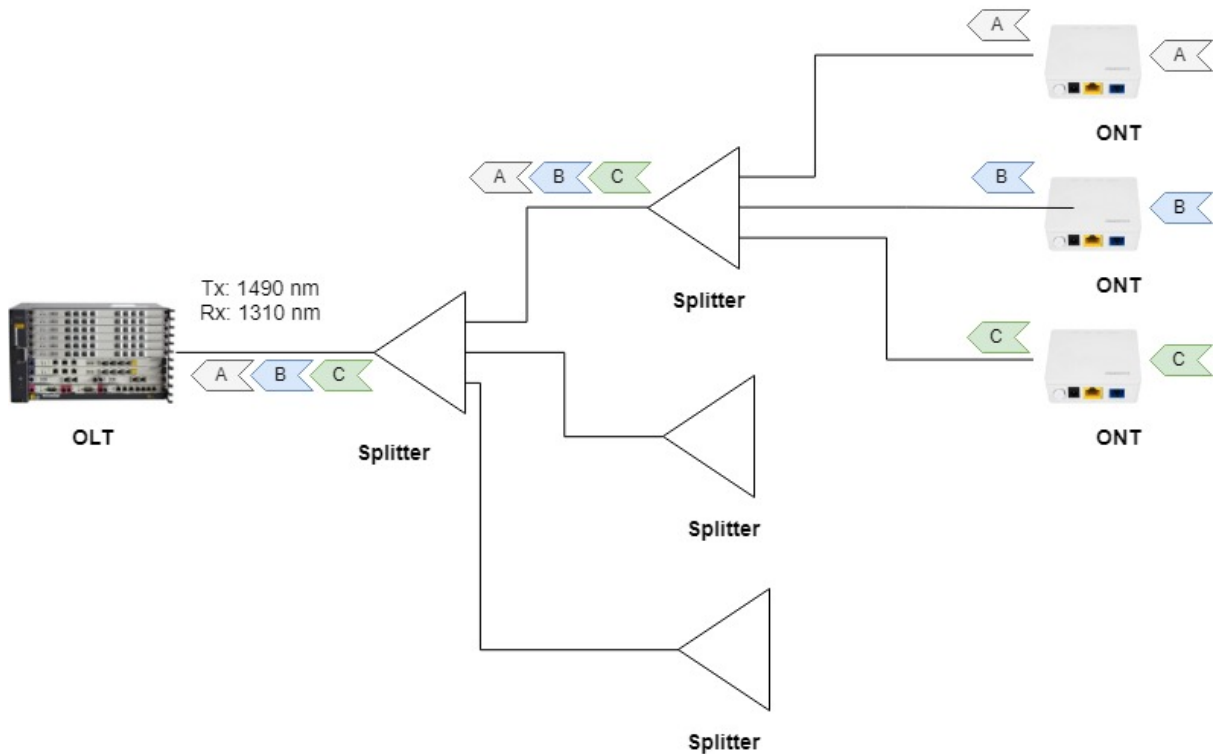
El canal descendente de una red GPON utiliza la longitud de onda de 1490 nm y se comporta como un sistema de envío punto-multipunto. En este entorno la OLT envía señales ópticas que el divisor óptico se encarga de distribuir a todas las ONT. Una vez que la información ha llegado a la ONT sólo pueden ser abiertas aquellas unidades de información dirigidas a un usuario/ONT concreto. El resto de la información permanece cifrada.



*Figura 3.4. Canal Descendente de arquitectura GPON*

### 3.3.2 Canal Ascendente

El canal ascendente de una red PON se comporta siguiendo un modelo de comunicación Punto a Punto. En él, cada ONT transmite contenidos a la OLT en 1310 nm. Por esta razón es necesaria la arbitración del uso del canal de transmisión, aquí es donde entra en función TDMA (Time Division Multiple Access) para que cada ONT envíe la información en diferentes instantes de tiempo. Este control se realiza desde la OLT. Al mismo tiempo, todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso conocido como “Ranging”



*Figura 3.5. Canal Ascendente de Arquitectura GPON.*

### 3.4 Ventajas de las redes ópticas pasivas

- **Mayor ancho de banda para el usuario:** La actual tecnología GPON puede ofrecer hasta 2.5 Gbps para 64 usuarios. Ya se está trabajando en estándares que elevan este ancho de banda hasta los 10 Gbps.
- **Aumento de la cobertura y calidad de servicio:** Desde la instalación del operador es posible extender una Red PON hasta una distancia de 20 Km. Con tecnologías basadas en DSL, se alcanzan, como máximo, 5.5 Km. Por otro lado, las redes PON son inmunes a perturbaciones de origen electromagnético.
- **Ahorro de costes asociados al despliegue de red:** Además del ahorro que supone el empleo de fibra óptica frente al cobre, la topología árbol-rama de la red de fibra junto al empleo de sistemas de transmisión monofibra, reduce notablemente los costes de implementación.

Una red PON consiste en un equipo terminal de línea en el POP (NOC) u oficina central, una red de distribución pasiva (ODN: Optical Distribution Network) que incluye un divisor óptico pasivo o splitter y puertos de salida hacia un máximo de 64 usuarios finales, cada uno con una unidad óptica terminal (ONU) o terminal de red óptica (ONT) dependiendo de donde termina la fibra.

La ONU existe en varias versiones, incluyendo una versión MDU que maneja varios usuarios para aplicaciones en edificios, reusando el cableado existente del edificio (CAT5/Ethernet).

Las ventajas de una PON incluye el reducido uso de fibras, la ausencia de equipos activos en la planta externa entre la OLT y la ONU, capacidades de alocaión dinámica de ancho de banda y la posibilidad de rafagas de gran ancho de banda, lo cual puede producir un ahorro de capital y costos operacionales.

Es importante notar que la última parte de la red, entre el último splitter y el usuario final, es la misma tanto en la solución punto a punto como en PON: cada hogar pasado será conectado con una (o más) fibras hasta el punto donde el último splitter está instalado, también conocido como punto de concentración de fibra (FCP) o punto de flexibilidad (fiber flexibility point FFP). uno de los diferenciadores de PON es que el número de fibras entre el FFP y el POP se puede reducir significativamente (relación de splitteo en combinación con una densidad de clientes alta conduce a la reducción de necesidad de fibras de 1:100).

### **3.5 Equipos Activos PON**

El estándar PON define un equipo activo optical line terminal (OLT) y otros equipos optical network unit. La OLT se sitúa usualmente en la oficina central (CO) o punto de concentración/agregación. El bastidor OLT puede contener hasta aproximadamente 8200 clientes (64 usuarios por puerto/conexión GPON) por estante o sub-bastidor (shelf).

Hay diferentes tipos de ONU disponibles según su localización:

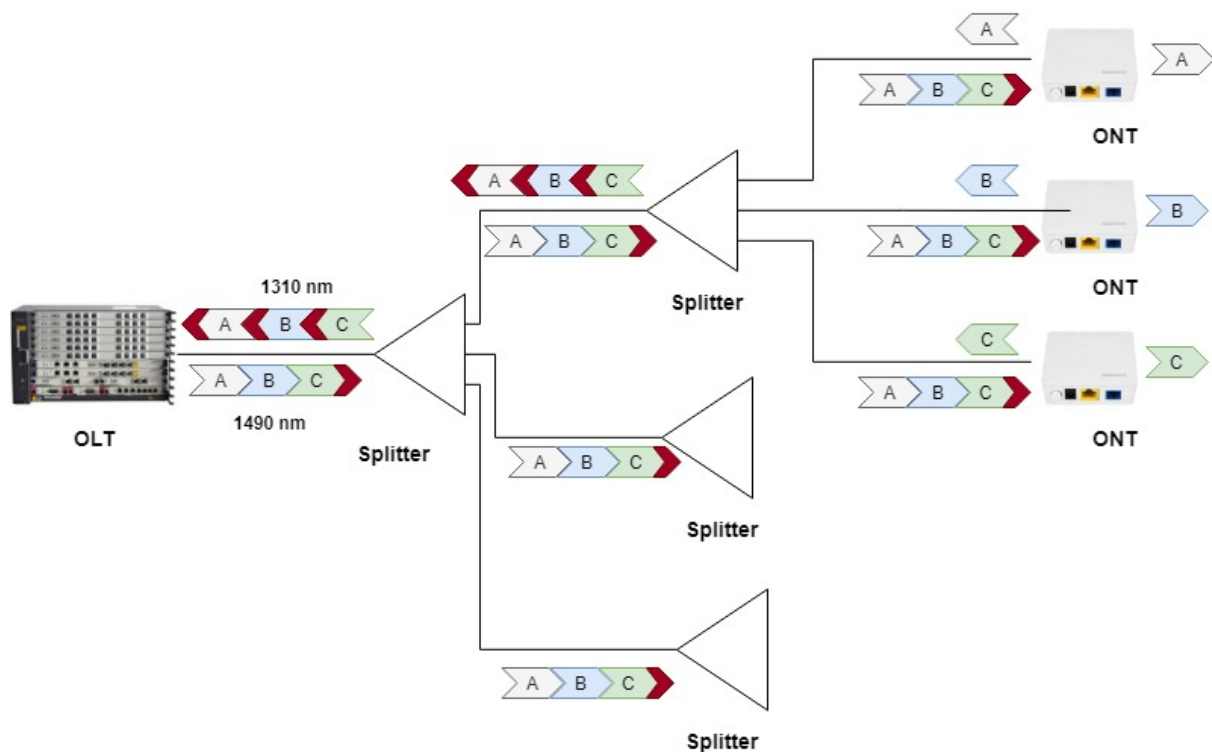
- Aplicaciones para interiores (I-series); Aplicaciones Outdoor (O-series).
- Aplicaciones business (B-series).
- Aplicaciones FTTB.

Dependiendo de la aplicación, ONU puede ofrecer telefonía analógica (POTS), conexiones Ethernet, conexiones RF para vídeo superpuesto o en el caso de FTTB, varias conexiones VDSL2 o Ethernet.

Según la IEEE, el equipo de cliente se denomina también ONU. Sin embargo, en el contexto GPON y X-GPON se acordó usarse el término ONU en general; ONT fue reservado sólo para el caso de una ONU para cliente único u hogar. Por lo que el término ONU es más general y siempre apropiado. Sin embargo, cualquier persona sigue esta definición y en otro caso (no PON) cualquier dispositivo de terminal de red óptica es también referido como optical network termination (ONT).

### 3.6 Gestión de Ancho de Banda

En GPON el ancho de banda es asignado por un esquema basado en TDM (Time Division Multiplexing). En downstream, todos los datos se transmiten a todas la ONUs de manera broadcast; los datos entrantes a cada ONT son filtrados basados en ID del puerto. En dirección upstream, la OLT controla cada canal upstream asignando una ventana de tiempo diferente a cada ONU. La OLT provee una asignación dinámica de ancho de banda y priorización entre servicios usando un protocolo MAC (Media Access Control)



*Figura 3.6. Gestión de Ancho de Banda en sistema GPON*

**TDM (Multiplexación por División de Tiempo - Time Division Multiplexing):** En la Multiplexación por división en el tiempo (TDM, Time-División Multiplexing) o TDM síncrona los datos de cada una de las fuentes son divididos en ranuras temporales. Se va enviando una ranura de cada fuente a continuación de la ranura anterior, de forma cíclica. El resultado final es un conjunto de bits en el canal que pertenecen a distintas comunicaciones. Este tipo de multiplexación se utiliza para el envío de voz digitalizada

**TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo - Time Division Multiplexing Access):** es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión. El Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es una de las técnicas de TDM más difundidas.

### 3.7 Optimización de una implementación PON

Cuando se despliegan redes PON, la infraestructura activa y pasiva pasa de mano en mano. Parece claro que el momento de hacer la inversión en activos (principalmente en los sitios de cliente) puede optimizarse una vez que se eligió el splitting pasivo correcto.

Varias consideraciones necesitan tomarse en cuenta cuando se diseña la red:

- El mejor uso del equipo activo, asegurando un promedio mayor a 50% del uso de puertos.
- Una planta externa flexible que pueda adaptarse fácilmente a una distribución de clientes de hoy y del futuro.
- Necesidades regulatorias de desagregaciones en la red de acceso de próxima generación (NGA networks).
- Optimizar el costo operativo debido a intervenciones en campo.

Estas consideraciones derivan en algunas reglas de diseño.

Para aprovechar mejor las ventajas inherentes de una PON, debe optimizarse la ubicación de los splitters.

Asumiendo utilizar al principio un sólo nivel de splitter, también conocido como splitter centralizado, En esta caso, debe definirse el tamaño del nodo, es decir, el número de casas pasadas, Esto es un compromiso entre el costo de los gabinetes y la longitud extra de las fibra si los gabinetes son movidos hacia o más cerca del NOC.

### 3.8 Características y técnicas

Una red PON cuenta con las siguientes características :

- **Multiplexación de la información:** Ambos canales de información (descendente y ascendente) viajan en la misma fibra óptica empleando diferentes longitudes de onda. Para ello se utiliza un esquema de multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing).
- **Sentido Descendente - TDM:** Se utiliza tecnología TDM (Time Division Multiplexing). Todos los datos se transmiten a todas las ONTs. Cada ONTE filtra los datos recibidos y sólo es capaz de acceder a aquellos datos que van dirigidos hacia ella. Es posible cifrar el tráfico que se cursa entre OLT-ONT para que este sea inaccesible a una segunda ONT modificada para comportarse como espía.
- **Sentido Ascendente - TDMA:** Se utiliza tecnología TDMA (Time Division Multiple Access). La OLT controla el canal ascendente, asignando ventanas de tiempo de transmisión a cada ONT. Se requiere control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios. Es necesaria la perfecta sincronización de los paquetes ascendentes para que la OLT sea capaz de reconstruir la trama GPON. Por

esta razón es necesario que la OLT conozca la distancia a la que se encuentra cada ONT para tener en cuenta el retardo que sufre la información desde qué parte del usuario.

- **Identificación de usuarios:** GPON dispone de un mecanismo que permite a la OLT identificar a cada una de las ONT presentes en la misma red de fibra. Por este motivo, cada ONT dispone de número de serie exclusivo que es conocido por la OLT.
- **Configuración Remota de las ONTs:** Uno de los principales retos que resuelve la tecnología GPON es la gestión remota del equipamiento de usuario. De esta forma se consigue un notable ahorro del coste derivado del mantenimiento ya que no es necesaria la intervención en el domicilio del cliente.

Para ello dentro de la norma GPON se ha desarrollado un protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface). Este protocolo permite la configuración remota de las ONTs. Para cada ONT se establece un canal de gestión entre OLT u ONT. Incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones. El protocolo OMCI es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la interoperabilidad entre fabricantes. Hay diversos mecanismos de transmisión de información OMCI:

- **Protocolos de transporte:** La norma GPON contempla dos posibilidades referentes a los protocolos de transporte que se pueden utilizar:
  - **ATM:** es el utilizado por APON y BPON, por lo que es una solución continuista.
  - **GEM (GPON Encapsulation Method):** se trata de un nuevo protocolo definido por la G.984s para utilizarse en GPON.
  - **Implementación Multicast:** Multicast es el protocolo utilizado para la difusión de televisión. No confundir con el servicio de video bajo demanda. Este protocolo, integrado en la ONT, OLT y decodificador, permite al usuario seleccionar el canal de televisión que recibe en cada momento.

## **SECCIÓN IV**

# **DISEÑO E INGENIERÍA**

# **CAPÍTULO 4: DISEÑO E INGENIERÍA**

## **4.1 Puntos de Conexión del Proyecto**

Todo proyecto, ya sea de Fibra Óptica, radioenlace, construcción, arquitectura, seguridad, etc. es necesario conocer el objeto con el que se va a trabajar y que es lo que se va a hacer con dicho objeto. Con esto se podrá determinar, en pasos posteriores, los requisitos mínimos que tendrá proyecto para poder llevarse a cabo.

En el caso del proyecto en cuestión, nuestro objeto de trabajo son cámaras de seguridad, las cuales cuentan con características particulares (las cuales se detallaran más adelante) y requisitos mínimos para un óptimo funcionamiento.

El objetivo de las cámaras es colocarlas en puntos estratégicos para tener cobertura de visualización de zonas de alto nivel de criminalidad en las ciudades enumeradas en los objetivos del proyecto.

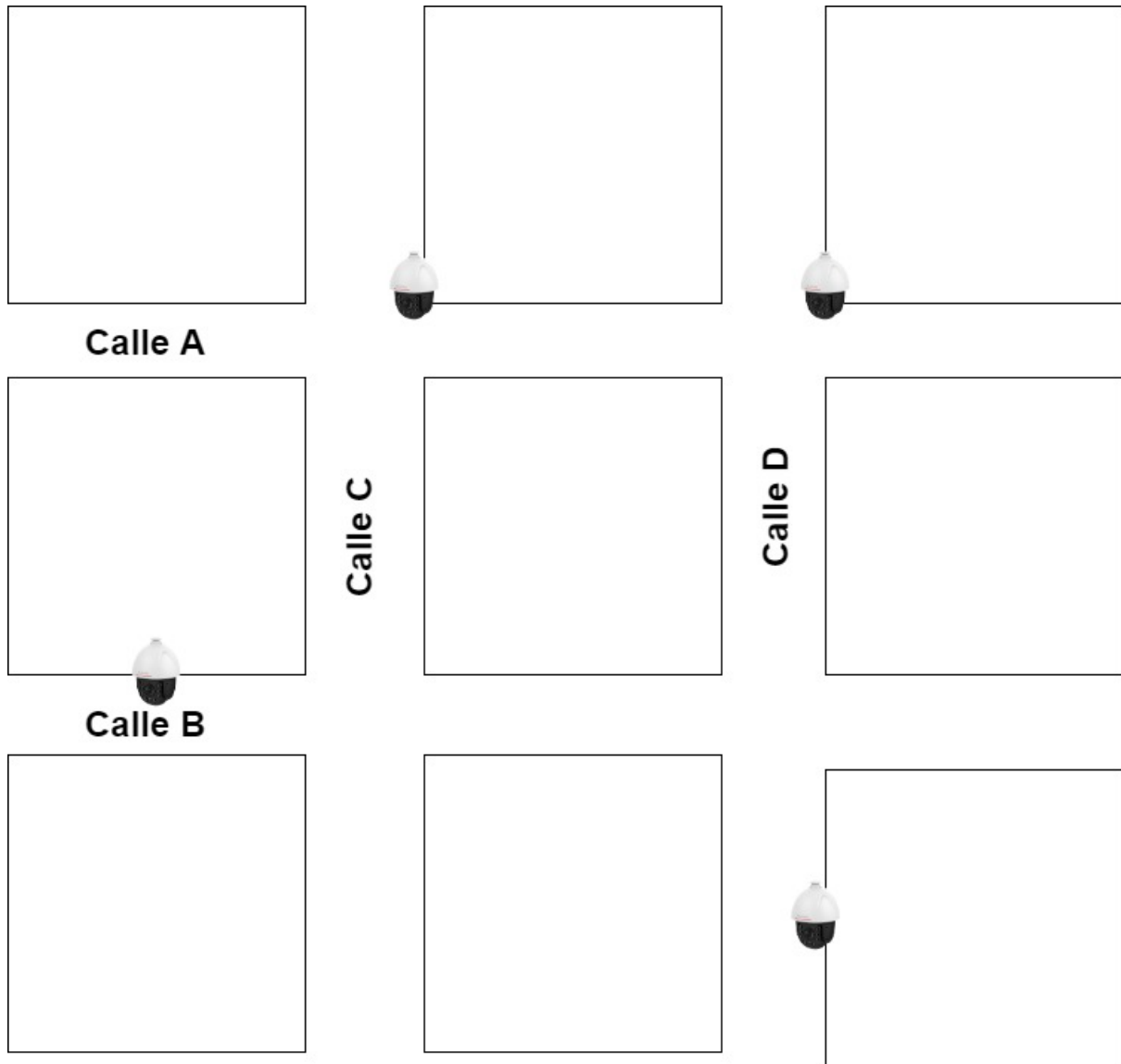
Debido al carácter de confidencialidad que posee este proyecto sobre el real realizado, los puntos que se toman como referencia son totalmente aleatorios y determinados mediante software desarrollado por el propio grupo de trabajo (ANEXO I).

## **4.2 Pre Diseño de conexión**

### **4.2.1 Determinación de puntos**

Una vez se haya determinado en forma “virtual” los puntos donde se dispondrán las cámaras de seguridad dentro de la localidad se realiza lo que se conoce como Pre Diseño de Conexión. Este punto es el hincapié inicial para determinar ciertos patrones en cuanto lo que conexiones se refiere.

En la siguiente figura se puede observar los puntos determinados por el cliente. Para tener una mejor referencia de cada punto. Cada cuadrado representa una manzana de 100 metros de lado y cada espacio entre estas representa una calle de 100 mts de ancho. Como cada cámara debe tener un alto rango de visión es razonable pensar que una cámara cada 100 metros es una proposición bastante lógica. Sin embargo, hay que tener en cuenta el tipo de cámara que se destinará a cada lugar y las circunstancias que se definan para la colocación en dicho punto, por ejemplo, un ingreso a barrio conflictivo, punto de escape para motochorros, zona con alto índice de vandalismo, etc.



*Figura 4.1. Puntos de Cámara Determinados por el cliente*

#### 4.2.2 Concentración

El concepto principal de usar una red GPON es optimizar el uso de puntos a conectar por pelo utilizado desde la OLT, esto es lo que se conoce como nivel de Splitteo. Por lo general, un equipo OLT tiene un nivel de Splitteo 1:64 como mínimo. En la actualidad, existen equipos que permiten tener un nivel de splitteo de 1:128, es decir, que por cada puerto de la OLT se puede conectar 128 clientes.

Seguiente el criterio anterior, se debe agrupar los puntos de cámara cercanos a un punto central, este último representará luego lo que es una caja de acceso o PDO (Punto de Distribución Óptica)

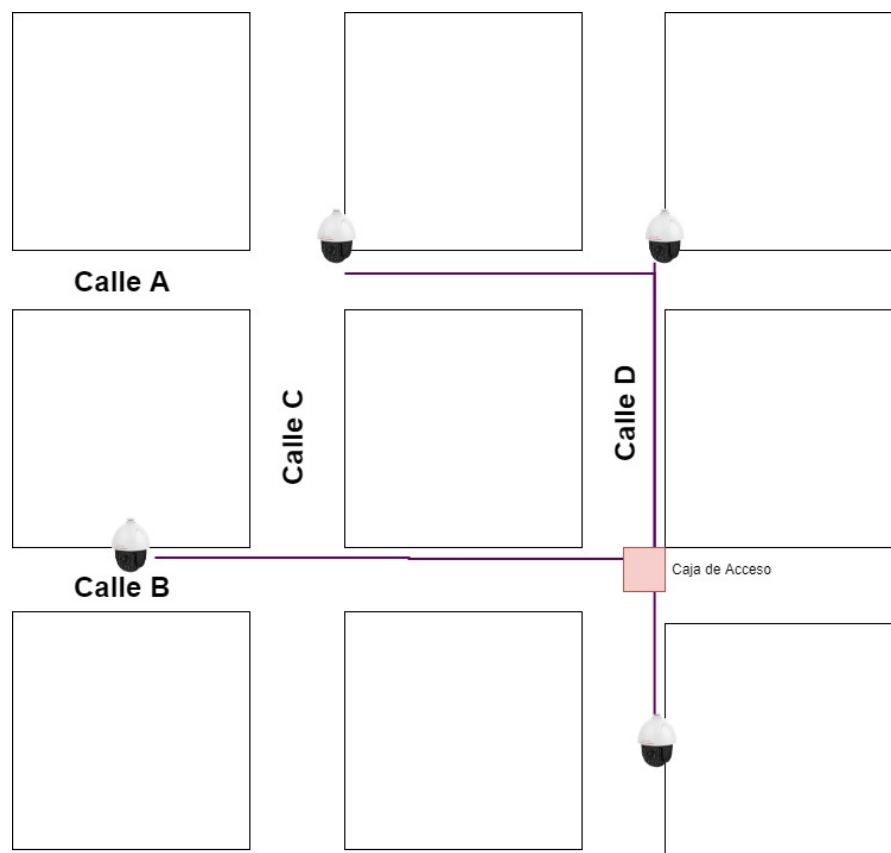
Una PDO permite la conexión la red de distribución y el cliente pudiendo ser instalada en espacios interiores y exteriores. Estas pueden tener desde 8 bocas para conexiones hasta 64. La cantidad de bocas pueden ser:

$$\text{Cantidad de Bocas} = 8 * 2^n \text{ donde } n = \{1, 2, 3\}$$

Es importante tomar en cuenta qué a mayor número de bocas en una PDO, mayor será la atenuación y por lo tanto, la señal recibida por el cliente será menor.

Para este proyecto se determina el uso de PDO con 8 bocas de acceso cada una, ya que la configuración asimétrica (se explicará más adelante en este capítulo) permitirá llegar más lejos y abarcar más distancia. Además, debido a la distribución de los puntos de cámara, la probabilidad de tener un punto de más de 8 cámaras cercanas (<250 metros) es bastante baja.

Por cuestiones de diseño, se toma como estándar que la distancia entre un cliente y su PDO más cercana no debe superar los 250 metros. Si bien físicamente superar este valor no es una condicionante que interfiera con la transmisión de datos, economicamente hablando es complicado realizar un tendido de más de 250 metros para un cliente (Esto se analizará en la sección VII).



*Figura 4.2. PDO con conexiones a puntos de cámara.*

Una vez establecidas todas las cajas de Acceso o PDO que se usarán para el proyecto, es necesario establecer la conexión entre las mismas.

#### 4.2.2.1 PDO (Punto de Distribución Óptica)

##### 4.2.2.1.1 Distribuidor Óptico Simétrico

Antes de ingresar en la sección de interconexión entre las PDO, es necesario aclarar cuáles son los criterios utilizados para determinar la cantidad de bocas de dichas cajas.

Se toma como visión el lado de empresa y por otro lado, la visión del proyecto.

Toda empresa, pymes, institución, organización u otros, tiene como finalidad llegar a la mayor cantidad de clientes posibles en un área determinada. Siendo este un caso de ventas, donde a mayor número de clientes posibles, mayor es el número de ingreso que se recibe, las empresas optan por tener la mayor cantidad de bocas de acceso disponibles en un punto específico para poder tener la mayor disponibilidad a la hora de conectar un cliente.

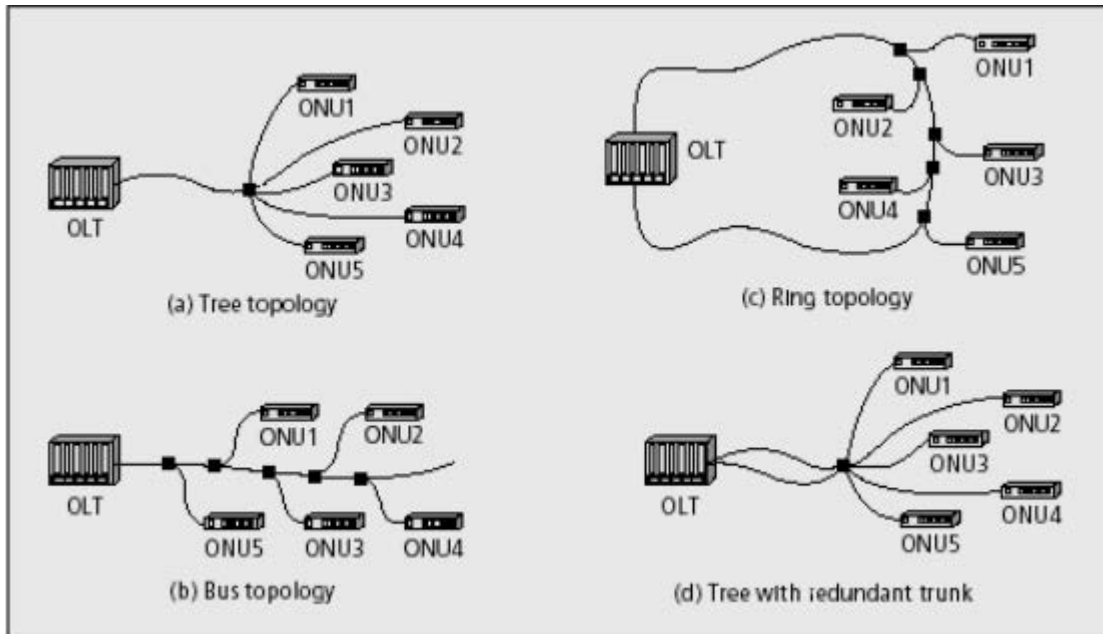
Sin embargo, se debe tomar en cuenta varios parámetros para determinar cuántos clientes se van a poder conectar, estos deben ser de tipo:

- **Demográfico:** Se debe prever la cantidad de personas que habitan el área donde se planea dar cobertura.
- **Geográfico:** Es necesario establecer donde están los límites donde la empresa u organización puede brindar cobertura.
- **Legal:** En muchos municipios y ciudades existen normas referidas al uso del espacio aéreo (Se analizará en la sección IV). Otras han especializado incluso más sus normativas teniendo reglamentos específicos en cuanto al tendido de fibra óptica dentro de sus regiones.
- **Económico:** Es importante determinar o por lo menos estimar cuánto es el poder adquisitivo de la región donde se va a brindar el servicio. No es lo mismo pretender brindar un servicio a una región donde el poder adquisitivo de las personas es prácticamente equivalente al SMVM (Salario Mínimo Vital y Móvil) donde las ventas probablemente serán mucho más bajas y la amortización del proyecto será mucho más larga, que en una región donde el poder adquisitivo es mucho más alto.
- **Nivel de analfabetismo:** Los niveles de analfabetismo de una región puede brindarle la información suficiente a una empresa para decidir desplegar o no un servicio, ya que esto define cómo tomarán las personas la tecnología que se les puede brindar.

En lo que respecta a un aspecto más físico de la materia, se debe analizar cuál será el alcance del proyecto. La tecnología GPON actual tiene una limitación óptima de 20 Km, pero esto depende del nivel de splitteo que se tenga.

Las arquitecturas que se pueden obtener dependiendo del tipo de conexión que se realicen con los splitter son:

- Árbol
- Anillo
- Bus
- Anillo-Arbol



**Figura 4.3. Topologías PON**

Para entender mejor cómo funciona el nivel de splitteo (división óptica de la luz) se hará una analogía con las redes eléctricas.

Una red eléctrica está compuesta por la fuente de energía ( $V_{cc}$ ), una carga ( $R_s$ ) y las conexiones eléctricas propiamente dichas (cables) cómo se puede ver en la siguiente imagen



**Figura 4.4. Analogía de Red Eléctrica**

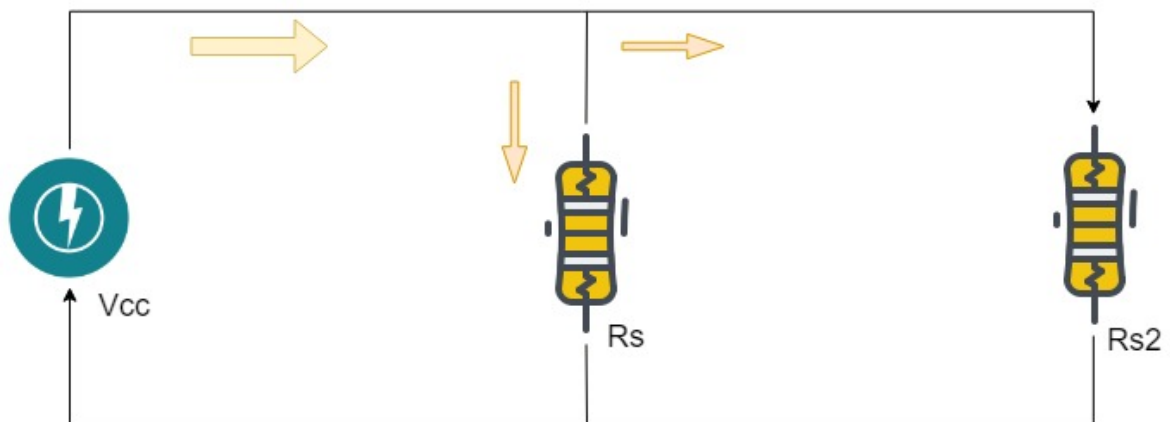
Si hacemos su equivalente óptica, podemos ver que la  $V_{cc}$  equivale a la OLT, la  $R_s$  equivale a una ONT y los cables a fibra óptica.



**Figura 4.5. Conexión Óptica.**

Si por la maya de energía se hace correr corriente eléctrica, según la figura 23. Se puede determinar que toda la potencia eléctrica que sale de la Vcc llegara la Rs. Lo mismo ocurre en el caso Óptico, en una conexión directa, toda la potencia óptica que sale de la OLT llega a la ONT (No es óptimo que suceda esto cómo se verá más adelante).

En un segundo ejemplo, se puede ver una división en la red eléctrica.

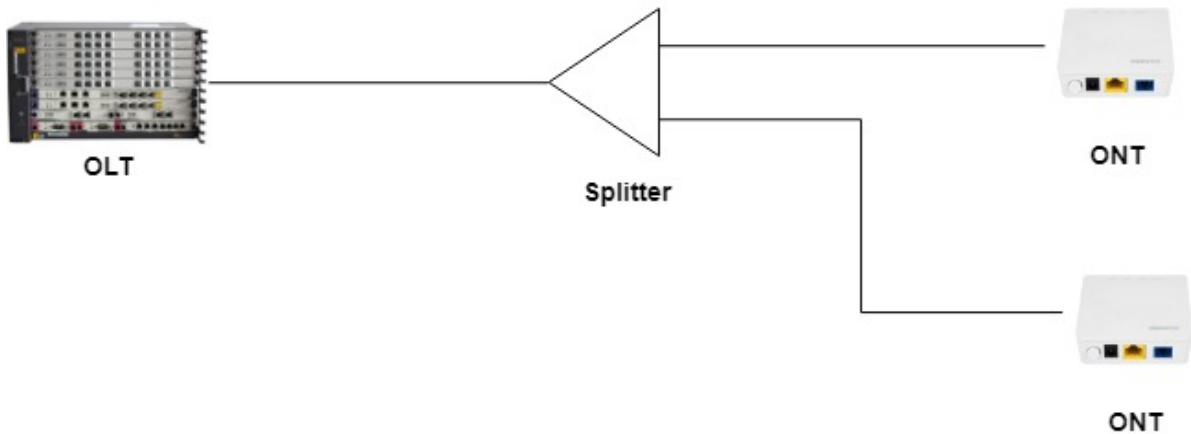


**Figura 4.6. División de energía eléctrica**

Según la ley de Kirchhoff la suma de corrientes entrantes en un punto, deben ser iguales a la suma de las corrientes saliente. Analizando esta ley desde un punto de vista más general, se puede decir que llegado a un punto de separación, la corriente o intensidad eléctrica se divide, generando intensidades más pequeñas, siendo las suma de estas igual a la proveniente.

En las redes eléctricas para hacer una derivación de energía, es muy común usar método de contacto directo, cómo ser láminas de metal, matriz de distribuciones e incluso en conexiones hogareñas se encuentran amarres físicos entre cables.

Si llevamos esto al campo óptico, tenemos la misma analogía, sólo que debido a que la fibra óptica no puede tener pérdidas, se debe utilizar los divisores ópticos (splitter).



**Figura 4.7.** División de energía Óptica

Estos divisores ópticos al igual de cómo funciona en un punto de separación eléctrico, dividen la señal de luz que ingresa en sus salidas.

A diferencia de cómo se calcula la distribución de energía en cada una de las ramificaciones realizadas en su circuito. En una red óptica, los splitter o divisores ópticos ya poseen un valor de pérdida que generan por el simple hecho de dividir la señal. Estos valores dependen del fabricante. Sin embargo, la mayoría utiliza el mismo concepto físico.

Cómo los splitter relacionan la potencia de entrada que reciben con la potencia de salida en cada una de sus bocas, se puede medir la pérdida que generan por decibelios.

A modo de aclaración el decibelio es quizá la unidad más utilizada en el campo de las telecomunicaciones por la simplificación que su naturaleza logarítmica posibilita a la hora de efectuar cálculos con valores de potencia de la señal muy pequeños.

Como relación de potencias que es, la cifra en decibelios no indica nunca el valor absoluto de las dos potencias comparadas, sino la relación entre ellas. A diferencia de lo que ocurre en el sonido, donde siempre se refiere al mismo nivel de referencia, en telecomunicación, el nivel de referencia es cambiante.

Esto permite, por ejemplo, expresar en decibelios la ganancia de un amplificador o la pérdida de un atenuador sin necesidad de referirse a la potencia de entrada que, en cada momento, se les esté aplicando.

Básicamente el valor D (en dB) que corresponde a una determinada relación entre dos potencias se describe como:

$$D_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_e}{P_s} \right)$$

Donde  $P_e$  es la potencia de entrada y  $P_s$  es la potencia de salida.

Un ejemplo claro de la atenuación que genera un splitter es en el caso de una splitter 1x2. Este posee un puerto de entrada y 2 puertos de salida. Cómo la potencia óptica de entrada se divide en forma uniforme entre las salidas, se puede determinar que la potencia de entrada es dos veces la potencia de salida en cada puerto. Por lo tanto, la atenuación generada por el splitter será de:

$$A_t = 10 \log_{10}(2) = 3.010299 \approx 3 \text{ dB}$$

Del mismo modo se puede calcular para splitter con más cantidad de puertos.

En la siguiente tabla se pueden apreciar algunos valores de varios fabricantes

Modelos	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Banda Óptica Pasante	PLC: 1260~1650 FBT:1260~1360nm y 1480~1650nm					
Pérdida de Inserción Máxima (Sin Tener en Cuenta las Pérdida de las Conexiones)	3,7dB	7,1dB	10,5dB	13,7dB	17,1dB	20,5dB
Uniformidad	0,5 dB	0,6 dB	1,0 dB	1,3 dB	1,5 dB	1,7 dB
Sensibilidad a la Polarización Máxima (PDL)	0,2 dB	0,2 dB	0,25dB	0,3 dB	0,4 dB	0,5 dB
Directividad	>55 dB					
Pérdida de Retorno	>55 dB					

*Tabla 4.1. Valores típicos de Divisores Ópticos Simétricos*

## Specification

### 1xN optical splitters

Parameters		1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Operating Wavelength(nm)		1260 - 1650					
Insertion Loss (dB)	Max	4.0	7.3	10.5	13.7	16.9	21.0
Uniformity (dB)	Max	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5	2.5
Return Loss(dB)	Min	50	50	50	50	50	50
PDL (dB)	Max	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Directivity(dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Pigtail length (m)		1.5 ± 0.1 or customer specified					
Fibre type		SMF – 28e or customer specified					
Wave length dependent loss(dB)	Max	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Temp stability (-40~85°C)(dB)		±0.5±0.002					
Work temp(°C)		-40~85					
Storage temp(°C)		-40~85					

*Tabla 4.2. Valores típicos de Divisores Ópticos Simétricos (2)*

Para entender a los fabricantes, el valor que estos especifican para la pérdida generada por el divisor óptico es “Pérdida por Inserción” (Insertion Loss), valor expresado en dB.

#### 4.2.2.1.2 Distribuidor Óptico Asimétrico

En una arquitectura GPON, los pilares que permiten la conexión entre el equipo cabecera y los equipos clientes son los divisores ópticos. Si bien en la sección anterior se habló de los divisores Simétricos, estos son una parte de las PDO. Sin embargo, existen otros tipos de divisores ópticos, que cumplen una función específica, la cual es distribuir la potencia óptica en partes no iguales.

*Los divisores ópticos son componentes pasivos que realizan la división de la señal óptica en una red PON. Los divisores asimétricos están constituidos por una fibra de entrada y 2 fibras de salida, las cuales dividen la potencia de la señal óptica de forma asimétrica entre ellas. Es decir, la potencia de la señal óptica se puede dividir en proporciones diferentes según la necesidad de cada aplicación. Se utilizan principalmente en redes ópticas FTTx / PON y en redes HFC (TV por cable).*

*-- Furukawa Electric*

Los divisores ópticos asimétricos nacen con la llegada de la tecnología GPON.

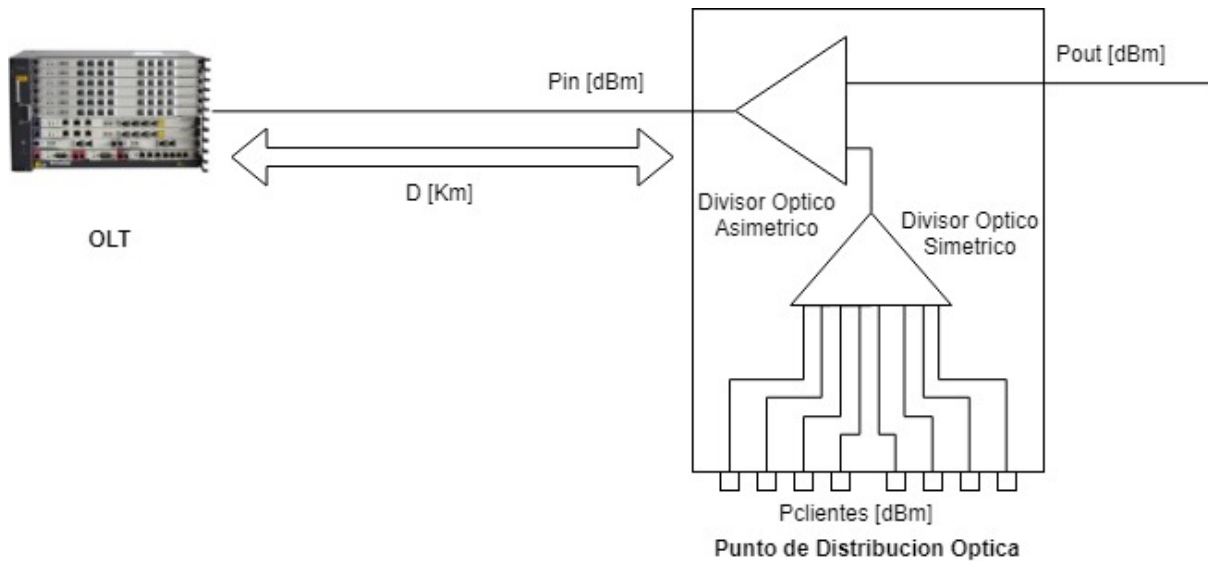
Haciendo un poco de historia, antes de la tecnología GPON, la principal tecnología en fibra óptica para despliegues múltiples fue la tecnología EPON (Ethernet Over Passive Optical Network). GPON a diferencia de esta última, posee sincronismo. Es decir, que es una red asíncrona, basada en SDH, por lo que no importa donde se encuentre el cliente o suscriptor que desee transmitir, este siempre lo hará dentro de su tiempo predeterminado por la OLT.

Esto influye mucho en la arquitectura física de la red. Antes de GPON, todas las tendidas de fibra óptica con tecnología PON estaban basadas en arquitecturas Simétricas o Balanceadas, es decir, solamente se usaban divisores ópticos (splitter) balanceados. Si bien, es más fácil distribuir la red de esta forma, no es posible llegar a mayor distancia, ya que la potencia óptica (a partir de ahora llamado presupuesto óptico) es limitada a medida que se colocan más divisores ópticos en el medio. Por otro lado, EPON al ser una red Asíncrona, se debe notar que en el upstream de información (es decir, desde la ONT hacia la OLT), debido a las características direccionales de un splitter óptico, las tramas de datos llegan solamente a la OLT y no a otras ONU's. En ese sentido, en dirección de upstream el comportamiento de la EPON es similar al comportamiento de una arquitectura P2P (point to point). Sin embargo, difiere de una verdadera red P2P, ya que las tramas de EPON son transmitidas simultáneamente de ONU's diferentes pudiendo así existir colisiones. Así, en la dirección upstream (del usuario a la red), las ONU's necesitan compartir la capacidad y los recursos del canal de fibra.

GPON nace con la idea de ser una red asíncrona, por lo tanto, no debería existir el problema de colisiones, ya que cada cliente posee su propio slot de tiempo para poder transmitir en upstream.

Gracias a no poseer la limitación de asincronismo y por lo tanto disminuir casi al punto de no tener colisiones, se pueden generar nuevas arquitecturas de red, llegando a cubrir más distancia muchos más grandes, ya que el ranging establece los tiempos de transmisión de cada ONT, y estas no deben disputar por enviar la información sensando el medio.

Es muy común encontrar divisores asimétricos en arquitecturas de tipo rama-árbol, donde de un hilo de entrada se obtiene la potencia desde la OLT, o desde un divisor óptico asimétrico anterior. En el hilo de salida de mayor pérdida de potencia, se conecta un divisor óptico simétrico y al hilo restante (de menor pérdida en la salida) se deja para continuar con el tendido de fibra óptica. Quedando una arquitectura como la que se puede apreciar en la figura 3.10.



**Figura 4.8.** Arquitectura de red PON Asimétrica

Una consideración a tener en cuenta es el hecho de saber que los divisores ópticos asimétricos no pueden ser conectados directamente a un equipo cliente, ya que se estaría omitiendo dos conceptos, el primero de ellos, GPON, donde el objetivo tener una conexión de equipos mayor a la cantidad de hilos de fibra óptica desplegado (se habla de 1:8 mínimo hasta 1:64 o 1:128, dependiendo de la capacidad del equipo de cabecera).

Modelos	1/99	2/98	5/95	10/90	15/85	20/80	25/75	30/70	35/65	40/60	45/55
Paso de Banda Óptico	1260~1360 e 1480~1650nm										
Pérdida máxima de Inserción (dB)	21,6 x 0,30	18,7 x 0,4	14,6 x 0,5	11,0 x 0,7	9,6 x 1,0	7,9 x 1,4	6,95 x 1,7	6,0 x 1,9	5,35 x 2,3	4,7 x 2,7	4,15 x 3,15
Pérdida máxima Dependiente	0,2 dB										

**Figura 4.9.** Valores típicos de Divisores Ópticos Asimétricos

Más adelante se muestra el proceso de selección de el divisor óptico más óptimo para cada PDO. Se toma muy en cuenta la distancia entre la OLT y el divisor óptico asimétrico en el caso del primer PDO. En casos posteriores, se debe tomar en cuenta la distancia entre cada PDO para poder determinar la potencia recibida por cada una de ellas.

### 4.2.3 Interconexión

En el proceso de interconexión en un diseño de fibra óptica se considerar cómo se conectara cada PDO en un grupo de PDOs y la conexión con la OLT.

Este proceso es relativamente sencillo cuando se tiene conocimiento de la zona donde se hará el despliegue, ya que se conoce los lugares, postes, plazas, zonas con alto nivel de criminalidad, etc. Sin embargo, cuando se está trabajando en un área donde no hay conocimiento de la zona, lo más recomendable es establecer la regla del camino más corto.

Partiendo de la OLT se deberá ver el punto de la PDO más cercana y establecer la conexión por el camino más corto y recto posible (Las curvaturas en un tendido de fibra óptica equivale a mayor uso de materiales, por lo tanto, aumentar el presupuesto de materiales).

Siguiendo este mismo lineamiento, se deberá continuar desde la última PDO seleccionada a la siguiente por el camino más corto y recto posible.

Esto se hace hasta alcanzar el máximo de 128 puertos posibles de conexión o 20 Km, lo que ocurra primero. Esto ocurre por el hecho de tener un nivel de splitteo máximo por parte del equipo cabecera (OLT). Si el nivel de splitteo de la OLT es menor, se deberá tener en cuenta cuántos puertos en total puede soportar para conectar.

Por ejemplo, si se toma en cuenta que se tiene una OLT con un nivel de splitteo de 128, es decir, por cada puerto de fibra que se conecte a la OLT, se puede tener conectado 128 clientes. Y en planta externa se tiene PDO de 8 puertos. Se calcula la cantidad total de cajas que se puede tener por puerto es de:

$$\text{Cantidad de PDO/Puerto PON} = \frac{128}{8} = 16$$

Por lo tanto, el límite máximo es de 16 PDO por puerto PON (Puerto de conexión de Fibra Óptica GPON de OLT).

En la figura 3.11 se puede apreciar el prediseño de interconexión de PDOs.



*Figura 4.10. Interconexión de PDOs*

### 4.3 Relevamiento

Una vez realizado todos los tendidos que se pretenden realizar en la etapa de PreDiseño, se debe realizar el relevamiento correspondiente de cada tramo plasmado.

Esta etapa, correspondiente al proceso de planta externa, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Existencia de posteria:** Los postes son el esqueleto de la red GPON, ya que estos son los que harán de soporte para la fibra óptica. Por lo tanto, es necesario saber que el trayecto elegido posee postes para el tendido de la fibra óptica. Es esencial que el personal que realice el relevamiento tenga los conocimientos sobre los distintos tipos de servicios que corren sobre cada poste, ya que no es lo mismo, un poste con servicio de Baja Tensión Eléctrica, que un poste con servicio de ADSL, como tampoco de Alta Tensión Eléctrica, siendo este último expresamente prohibido su uso para el tendido de líneas aéreas en varios lugares por el peligro que representan para el instalador.
- **Tipo y Estado de la Posteria:** Los postes son elementos de soporte que se encuentran en la vía pública, por lo tanto, están expuestos a la intemperie, el clima, las personas, etc. Por esto, es necesario saber que cada poste que se elige se encuentra en buen estado, no está inclinado, desgastado o corroído. De ser así, se deberá tomar el punto como referencia y establecer que dicho poste no es apto para el tendido de fibra óptica.
- **Camino Seguro:** Es común en muchas partes del mundo que existen lugares, llámese zona urbana, barrio o villa donde la seguridad policial está descuidada. Estos lugares, son

potencialmente peligrosos para el tendido de fibra óptica, por el hecho de tener que hacer un despliegue conlleva a tener personal trabajando en una zona hostil, donde lo más probable es que resulten damnificados por robo, hurto o hasta lesiones para poder hacerse con los materiales de los mismos. Por este motivo, el personal de relevamiento, debe establecer si la zona donde se pretende realizar el trabajo es segura para realizar un despliegue o si la misma es considerada zona hostil, se deberá marcar en el mapa la zona y en lo posible no tomarla en consideración en los siguientes pasos.

- **Marcado por GPS:** El personal de relevamiento debe contar con un equipo GPS para poder marcar la ubicación de todos los postes considerados para el tendido de fibra óptica.
- **Casco histórico:** Los cascos históricos por lo general son zonas delimitadas por ley donde los tendidos de fibra óptica por vía aérea están totalmente prohibidos. Esto se debe a que los municipios por lo general tratan de preservar la visibilidad de ciertos lugares y en muchos casos, el tendido de cable aéreo (red eléctrica, cableras, par de cobre, fibra óptica, etc) producen contaminación visual, arruinando la belleza de la zona.
- **Existencia de transformadores y Llave de maniobra:** Por cuestiones de seguridad y criterios de mantenimiento se considera una mala práctica realizar tendidos de fibra óptica sobre la misma mano donde hubiesen transformadores de energía y/o llaves de maniobras. Ya que estos, al igual que los postes de alta tensión, presentar un riesgo potencialmente alto para el personal que realizará el despliegue.
- **Cruce americano:** En un tendido de fibra óptica puede realizar curvas en los casos donde se realizan “quiebres”, es decir, giros sobre una calle. Estos, técnicamente pueden realizarse sobre los mismos postes y cruzar de forma diagonal. Sin embargo, estéticamente no es considerado una buena práctica, por lo tanto, es necesario establecer en dichos puntos la creación de un cruce americano.

Tomando en cuenta todas estos parámetros, el personal a cargo del relevamiento debe realizar un informe donde debe especificar cada poste marcado con el siguiente formato:

Planilla de Relevamiento de Postes								
Numeracion	Identificacion	Material	Tipo	Calle	Altura	Latitud	Longitud	Observacion
1	601	Madera	Baja Tension	Mar Argentino	1200	-24.766717°	-65.394453°	
2	602	Madera	Baja Tension	Mar Argentino	1200	-24.766686°	-65.396103°	
3	603	Madera	Baja Tension	Mar Argentino	1200	-24.766726°	-65.393138°	
4	604	Madera	Baja Tension	Mar Argentino	1200	-24.765638°	-65.392879°	
5	605	Madera	Baja Tension	Mar de Bering	1500	-24.765632°	-65.392630°	
6	606	Cemento	Baja Tension	Mar de Bering	1500	-24.765933°	-65.392291°	Posible punto de colocacion de PDO
7	607	Cemento	Media Tension	Mar de Bering	1500	-24.766809°	-65.392242°	
8	608	Metal	Baja Tension	Mar de Bering	1500	-24.767730°	-65.392200°	
9	609	Luminaria	Baja Tension	Mar de Bering	1500	-24.767789°	-65.391759°	
10	610	Madera	Baja Tension	Mar de Bering	1500	-24.767956°	-65.391073°	

**Tabla 4.3** Planilla de Relevamiento

Esta planilla y todas las que sean generadas, deberán ser numeradas, firmadas y presentadas al analista que realizará la próxima etapa de ingeniería del proyecto.

## 4.4. Toma de decisión y Diseño Preliminar

### 4.4.1 Toma de decisión

Una vez concluido el relevamiento, ya se posee muchas más información sobre la zona donde se planea realizar el tendido de fibra óptica. Esto permite tomar decisiones más precisas sobre cómo se realizará el despliegue, en qué zonas en concreto y con qué criterios se pueden argumentar el no cubrir ciertos lugares con fibra óptica.

Estas tomas de decisiones pueden llevar o no a realizar cambios dentro del diseño previamente establecido, considerando qué el diseño previo se realizó sin tener mucho conocimiento de la zona. Ahora más información permite ver si los caminos preestablecidos son seguros, viables y posibles de realizar.

Concluida la toma de decisión, y establecidas las zonas viables de tendido de fibra óptica, el diseñador deberá realizar el movimiento de las PDO sobre las líneas de tendido establecidas. Hay que considerar, que al realizar un movimiento de la PDO se realizará un tendido más largo de los cables drop de conexión. Esto, no es influyente dentro del presupuesto, tomando en cuenta la viabilidad presente del proyecto. Por esto, no es contraproducente establecer una nueva ubicación de una PDO, si la misma no presentar un desplazamiento importante (más de 300 mts). Caso contrario, se deberá tomar en consideración que los clientes que queden a una distancia mayor de 300 mts, deberán ser establecidos dentro de otra PDO más cercana, o en el peor de los casos, considerarse no factible de conectividad por fibra óptica, quedando a criterio del cliente, junto con el ingeniero del proyecto, establecer una posible conexión mediante otro medio de transporte (en el mayor de los casos, enlaces inalámbricos).

### 4.4.2 Diseño Preliminar

El diseño preliminar, es el plasmado de toda la red del tendido de fibra óptica a realizarse.

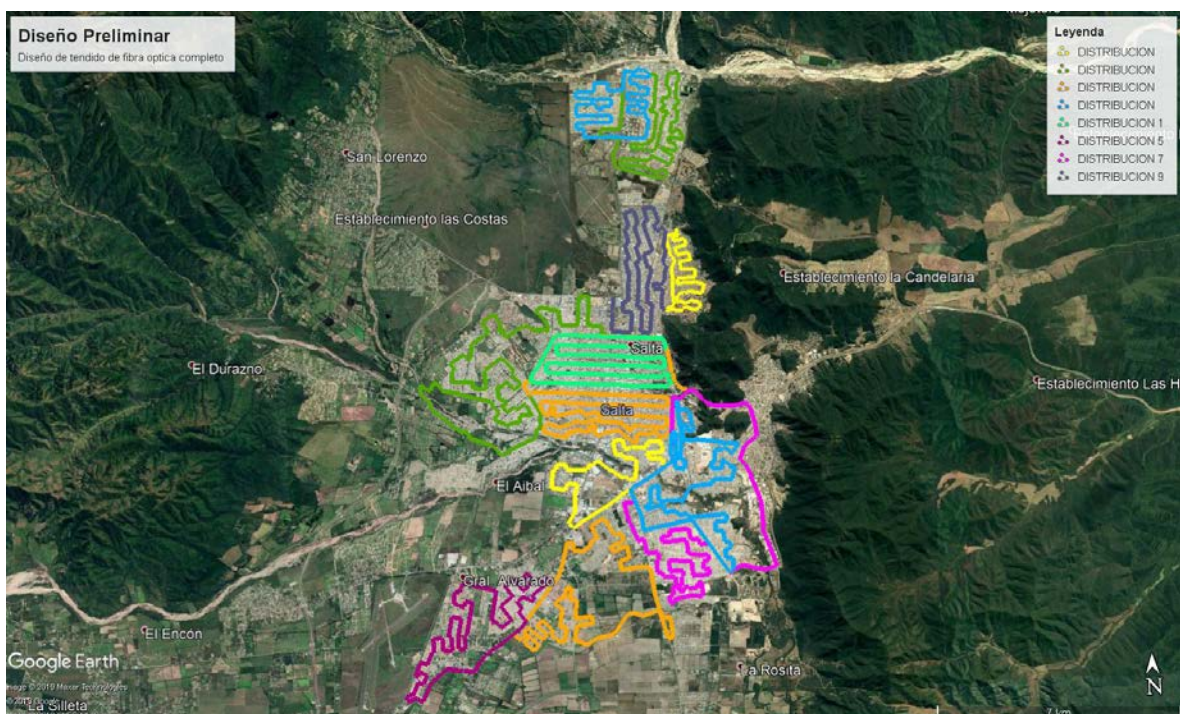
Puntos a tener en cuenta al momento de realizar el diseño preliminar:

- **Fácil diferenciación:** En un diseño de tendido de fibra óptica, los tramos de tendido de fibra deben ser fácilmente diferenciables (Mediante color, marcas, símbolos, etc).
- **Criterio de no repetición:** Es común que en muchos casos, distintos tendidos de fibra óptica se superponen con otros sin tener una PDO en medio. Dependiendo del criterio del ingeniero del proyecto, se deberá tener el límite máximo en qué un tramo puede estar superpuesto con otro (Generalmente tramos menores a un km). En caso de exceder el límite establecido, se debe especificar que dicho tramo será de una fibra de mayor capacidad de hilos. Por ejemplo, si existen dos tendidos de fibra óptica de 12 hilos superpuestos en una calle, ruta o avenida de 1500 metros, este tramo se puede reemplazar por un tramo de fibra óptica de 24 hilos. Esto

dependerá mucho del criterio del ingeniero del proyecto, y los objetivos de la empresa.

- **No centralización del diseño:** Una mala práctica que constantemente se observa en los diseños de tendidos de fibra óptica es el centrar el tendido dentro de una calle. En la realidad, la fibra óptica en la mayoría de los casos se despliega sobre las líneas de postera, ubicadas sobre las veredas. Por lo tanto, el diseñador debe especificar la vereda donde se desplegará la fibra óptica distribuyendo el tendido para un lado o para el otro según donde se ubicara.
- **Diferenciación de puntos:** Los puntos especificados por el cliente y los puntos especificados por la empresa deben estar diferenciados, ya sea por color, tipo o forma del icono identificador. Por ejemplo, los puntos de cámara deberán ser marcados de un color amarillo con un icono de marcado gps y las PDO con un icono cuadrado rojo. Los postes a utilizar, también deben ser diferenciados en los distintos tipos de de postes (Postes de baja tensión, postes de alta tensión, postes propios, postes de otros servicios, etc).
- **Uniformidad:** Los trazos e iconos que hagan referencia un mismo elemento con las mismas características deben tener el mismo formato, sea este, color, forma, etc
- **Referenciación:** Los diseños de despliegue de fibra óptica, deben tener referenciados los distintos iconos que se utilizan para referenciar los distintos elementos que intervendrán en el proyecto.

Cumpliendo con todos estos requisitos, los diseños deben se presentan en software de diseño asistido por computadora (por ejemplo Autocad, freeCAD, openCAD, etc) o por software GIS (Google Maps, Google Earth, Mappear, etc), junto las especificaciones del diseño en formato Texto.



*Figura 4.11. Diseño Preliminar completo*

## **4.5 Ingeniería del Proyecto**

La ingeniería del proyecto es el punto previo al diseño definitivo, donde se definen y afinan los cálculos establecidos en el diseño preliminar.

En primer lugar se debe tener los datos preestablecidos para las PDO, es decir la cantidad de bocas con las que se va a instalar las mismas (cantidad potencial de clientes por cada PDO).

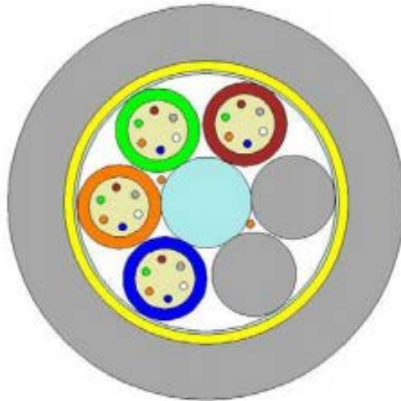
La fibra óptica como cualquier otro medio de comunicación, posee atenuaciones a medida que su distancia entre los dos puntos de conexión va creciendo cómo se vio en la Sección I.

Según el fabricante de la fibra óptica, se puede encontrar pérdidas por Km variables. Por ejemplo:

## 6F 12F 24F 36F 48F G652D ADSS Cable, 200m Span (1.5% SAG, NESC Light)

### Cable Design

IEC/EN 60794-3-20



- not to scale -

- **Central strength member (CSM):** glass fibre reinforced plastic material (FRP).
- **Tube:** thermoplastic material, containing up to 8 optical fibres and filled with a suitable water tightness compound.
- **Stranding:** the required number of elements (tubes or fillers) are SZ stranded around the central strength member.
- **Core Wrapping:** water blocking tape (dry core).
- **Peripheral reinforcement:** aramid yarns.
- **Outer Sheath:** HDPE.

### Technical data

No. of Fibres		6, 12, 24, 36	48
Design(element x fibre per tube)		6x6	6x8
Loose Tube / Filler - Ø nominal	mm	2.2	2.2
CSM/coating nominal diameter	mm	2.5	2.5
Outer sheath nominal thickness	mm	1.5	1.5
Cable nominal Diameter	mm	10.6	10.6
Cable Weight	kg / km	83	83
Maximum span	m		200
sag	%		1.5
NESC CONDITIONS		NESC Light	
Min. bending radius	mm	Without Tension 10 x Cable-Ø	Under Maximum Tension 20 x Cable-Ø
Temperature range	°C	Installation -5 -> +50;	Transport. & Storage -40 -> +70 ; Operation -20 -> +70

Please refer to our General Installation, Safety & Handling recommendations before handling.

### Main characteristics

Test	Standard	Value	Sanction*
Max. working tension	IEC 60794-1-2-E1	3500N	no visible fibre strain, $\Delta\alpha$ reversible
Crush(short term)	IEC 60794-1-2-E3	2200 N / 100mm	$\Delta\alpha \leq 0.1$ dB
Temperature range	IEC 60794-1-2-F1	-20 -> +70°C	$\Delta\alpha \leq 0.1$ dB /km
Water Penetration	IEC 60794-1-2-F5B	sample=3m, water=1m	No water leakage after 24 hour

\* values for single-mode fibres, all optical measurements performed at 1550 nm.

*Figura 4.12. Datasheet Fibra Óptica EXO*

### Main characteristics

Test	Standard	Value	Sanction*
Max. working tension	IEC 60794-1-2-E1	3500N	no visible fibre strain, $\Delta\alpha$ reversible
Crush(short term)	IEC 60794-1-2-E3	2200 N / 100mm	$\Delta\alpha \leq 0.1$ dB
Temperature range	IEC 60794-1-2-F1	-20 -> +70°C	$\Delta\alpha \leq 0.1$ dB /km
Water Penetration	IEC 60794-1-2-F5B	sample=3m, water=1m	No water leakage after 24 hour

\* values for single-mode fibres, all optical measurements performed at 1550 nm.

*Figura 4.13. Características de Fibra Óptica EXO*



## Cable Óptico Planta externa Dieléctrico Loose Buffer

### Especificaciones Técnicas

Tipo de fi-bra	62.5/125 $\mu$ m 850/1300nm	50/125 $\mu$ m 850/1300nm	Sm 1310/1550nm
Atenuación máxima (dB/km)	3.5/1.0	3.5/1.5	0.5/0.4
Atenuación típica (dB/km)	3.0/1.0	3.0/1.0	0.4/0.3
Ancho de banda mínima (LED MHz/km)	200/500	500/500	-/-
Ancho de banda modal efectivo mínimo (VCSEL MHz/km)	-/-	510/-	-/-
Radio mínimo de curvatura	sin carga 10x diámetro exterior		con carga 20x diámetro exterior
Temperatura de almacenamiento	- 40° a 70° C		
Temperatura de operación	-10° a 50° C		
Estándares industriales	NOM-001-SEDE, NMX-I-237 NYCE, ANSI/ICEA S83-596, NMX-I-NYCE-248-2005		

**Figura 4.14.** Características Fibra Óptica 3M

### Características Ópticas

Tipo de fibra	Longitud de onda [nm]	Atenuación [dB/km]
SM G.652-D	1310	$\leq 0,36$
	1383	$\leq 0,36$
	1550	$\leq 0,23$

**Figura 4.15.** Características Fibra Optica Prysmian

En las figuras 4.12, Figura 4.13, Figura 4.14 y Figura 4.15 se observan las atenuaciones características de cada fibra óptica. Si tomamos el promedio, se obtiene que la pérdida característica es de 0.3 dB/Km.

### ***Atenuación característica de la Fibra Óptica = 0.3 dB/Km***

Cómo se vio anteriormente, cada PDO , ubicada a una distancia específica de la OLT, está compuesta por un divisor óptico asimétrico y un divisor óptico simétrico (Figura 4.8).

El divisor óptico asimétrico, el que posee el puerto de ingreso de la línea de fibra óptica recibe una potencia de entrada, calculada en base a la distancia que existe entre dicho divisor óptico y elemento de emisión de potencia óptica anterior. Para el caso de la primer PDO, la potencia de entrada es recibida viene por parte del equipo cabecera OLT. Para los PDO siguientes, la potencia proviene de su PDO predecesora.

#### **4.5.1 Potencia de Salida de la OLT**

El equipo de cabecera (OLT), es el equipo encargado de brindar lo que es la potencia óptica. La OLT se caracteriza por tener puertos para conexión de fibra óptica para tecnología GPON conocidos como puertos PON. Estos últimos, físicamente son conversores electro-ópticos conocidos como SFP (small form-factor pluggable transceptor - transceptor pequeño de factor y forma conectable), los cuáles pueden ser:

- SFP Clase B+
  - Potencia media de transmisión máxima: 5 dBm
  - Potencia media de transmisión mínima: 1.5 dBm
- SFP Clase C+
  - Potencia media de transmisión máxima: 7 dBm
  - Potencia media de transmisión mínima: 2 dBm

Teniendo en cuenta estos valores, se debe tomar el valor promedio de cada uno:

- SFP Clase B+:
  - Potencia media de transmisión: 3.25 dBm
- SFP Clase C+:
  - Potencia media de transmisión: 4.5 dBm

A criterio de la planificación, es importante saber el equipo que se utilizará para calcular la potencia óptica con la que trabajará el sistema. Sin embargo, esta información no siempre está disponible cuando se está realizando los cálculos del proyecto, por lo que el análisis del mismo debe basarse siempre en el peor de los casos y dentro de los parámetros factibles. Por lo tanto, debemos tomar como parámetro de potencia óptica de mi OLT el valor de 4.5 dBm. Este valor promedio, es el valor promedio en el peor de los casos y se encuentra entre los valores máximos y mínimos de los SFP Clase B+ y C+.

### ***Potencia Óptica de la OLT = 4.5 dBm***

Uno de los valores que no es muy tomado en cuenta frecuentemente es la pérdida generada por los conectores. En el capítulo I se trató el tema de la atenuación por conectorización. Por este

motivo, también se debe incluir en el cálculo de la pérdida de potencia (también conocido como presupuesto óptico).

En la OLT, la pérdida característica por conectorización inicial es de 0,3 dB

$$\text{Pérdida por conectorización inicial} = 0.3 \text{ dB}$$

La pérdida por fusión, es imperceptible comparado con las magnitudes con las que se trabaja. Además, una fusión depende exclusivamente del rollo de fibra óptica que se esté trabajando y las derivaciones que se realice en el tendido. Por estos motivos, no es posible estandarizar el valor. Además cada fusión óptima, tiene un valor de pérdida de 0.02 dB en el peor de los casos.

Tomando en cuenta los últimos valores obtenidos, se determina que para que un sistema funcione correctamente, se toma como valor de Potencia Óptica de la OLT es igual a:

$$\text{Potencia de Salida de OLT} = 4.5 \text{ dBm} - 0.3 \text{ dB} = 4.2 \text{ dBm}$$

## 4.5.2 Cálculo de Potencia Óptica

El cálculo de potencia óptica recibido por cada PDO se puede calcular en base a los valores establecido previamente y esté variara en la salida, dependiendo del Divisor Óptico Asimétrico que posea.

Quien determinará que Divisor óptico se utilizará en cada PDO es la potencia de Salida a clientes (ver Figura 4.8). Esté se especifica según la potencia óptica que debe recibir el cliente según el equipo que se implementara. Al igual que en el caso de la potencia de Salida de la cabecera, es poco frecuente tener en este paso el equipo definitivo que se usará. Por lo tanto, es necesario realizar un cálculo genérico, de esta forma, no importara que equipo se ponga, la potencia con la reciba la señal estará dentro de los niveles óptimos de trabajo.

Por estándar, los equipos que se coloquen, al igual que en el equipo de cabecera, serán:

- ONT Tipo B+:
  - Sensibilidad mínima: -28 dBm
  - Sensibilidad máxima: -8 dBm
- ONT Tipo C+
  - Sensibilidad mínima: -33 dBm
  - Sensibilidad máxima: -8 dBm

Aunque en la teoría, estos valores son los estimado, en la práctica se podido determinar según consultas a varias empresas con tendidos ya realizados que los valores óptimos para extender al máximo la vida útil de los equipos independientemente de su clase son:

- **ONT**
  - **Sensibilidad máxima: -27 dBm**

○ **Sensibilidad mínima: -16 dBm**

Ya establecido el rango de valores con los que el equipo cliente (ONT) trabaja, se puede realizar el cálculo del Divisor Óptico Asimétrico.

Valores a tener en cuenta:

- Distancia desde OLT o PDO anterior: valor en Km.
- Potencia de salida de OLT o PDO anterior: valor en dBm
- Tipo Divisor óptico simétrico: puede ser 1:8, 1:16, 1:32, 1:64

Tomando como referencia la figura 4.1 podemos tener la siguiente tabla añadiendo valores de guarda:

Tipo de Divisor Óptico Simétrico	Pérdida por inserción
1:2	4 dB
1:4	7.5 dB
1:8	11 dB
1:16	14 dB
1:32	17.5 dB
1:64	21 dB

**Tabla 4.4.** Pérdida por inserción de Divisor Óptico Simétrico

Con esto, lo primero que hay que establecer es la potencia de entrada a la PDO. Esto se calcula de la siguiente manera:

- Para el caso de la primer PDO:

$$P_{in}(PDO) [dBm] = 4.2 \text{ dBm} - 0.3 \text{ dB/Km} * D[Km]$$

Ejemplo: Una PDO ubicada a 1.5 Km de la OLT tendrá una potencia de entrada de :

$$P_{in}(PDO) [dBm] = 4.2 \text{ dBm} - 0.3 \text{ dB/Km} * 1.5 \text{ Km} = 3.75 \text{ dBm}$$

Ahora se debe saber cuál será la potencia de salida a clientes según el Divisor Simétrico aplicado.

Para este ejemplo se tomará como valor un divisor óptico simétrico de 1:8, por lo tanto, su pérdida de inserción será 11 dB

$$P_{clientes}(PDO) [dBm] = -16 \text{ dBm} > 3.75 \text{ dBm} - P_{salida 2}(\text{Divisor Óptico Asimétrico}) - 11 \text{ dB} > -25 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{clientes}}(PDO) [dBm] = -16 \text{ dBm} + 11 \text{ dB} > 3.75 \text{ dBm} - P_{\text{salida 2}}(\text{Divisor Óptico Asimétrico}) > -25 \text{ dBm} + 11 \text{ dB}$$

$$P_{\text{clientes}}(PDO) [dBm] = -5 \text{ dBm} - 3.75 \text{ dBm} > - P_{\text{salida 2}}(\text{Divisor Óptico Asimétrico}) > -14 \text{ dBm} - 3.75 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{clientes}}(PDO) [dBm] = -8.75 \text{ dBm} > - P_{\text{salida 2}}(\text{Divisor Óptico Asimétrico}) > -17.75 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{clientes}}(PDO) [dBm] = 8.75 \text{ dBm} < P_{\text{salida 2}}(\text{Divisor Óptico Asimétrico}) < 17.75 \text{ dBm}$$

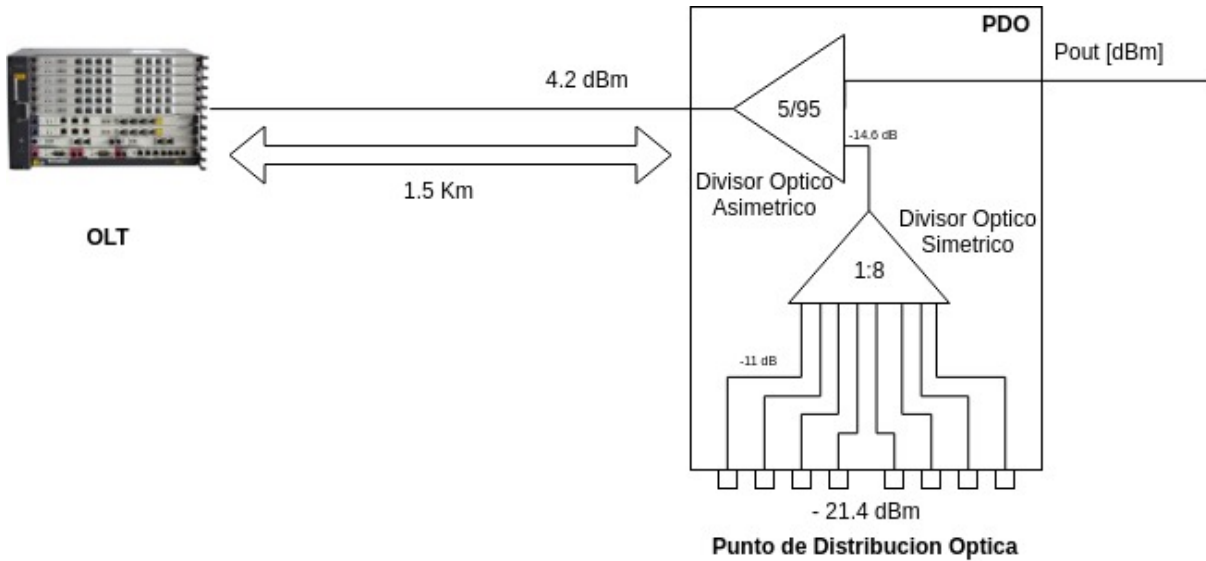
Tal como se hizo con los divisores ópticos simétricos, se puede hacer con los divisores ópticos asimétricos. Tomamos como referencia la tabla 4.3 y se obtiene la siguiente tabla:

Tipo de Divisor Óptico Asimétrico	Pérdida por Inserción en Puerto 1	Pérdida por Inserción en Puerto 2
5/95	0.5 dB	14.6 dB
10/90	0.7 dB	11 dB
15/85	1 dB	9.6 dB
20/80	1.4 dB	7.9 dB
25/75	1.7 dB	6.95 dB
30/70	1.9 dB	6 dB
35/65	2.3 dB	5.35 dB
40/60	2.7 dB	4.7 dB
45/55	3.15 dB	4.15 dB
50/50	4 dB	4 dB

**Tabla 4.5.** Pérdida por inserción Divisor Óptico Asimétrico

De esta tabla podemos tomar el primer valor de **Pérdida de Inserción en Puerto 2** que se corresponda con la ecuación presentada anteriormente. Para el ejemplo presentado se calculó qué el primer valor que encaja es del Divisor Óptico Asimétrico 5/95

Con este valor podemos estimado cuánto será la potencia real que llegará al cliente, teniendo ya todos estos datos



**Figura 4.16.** Resultado de cálculo de PDO

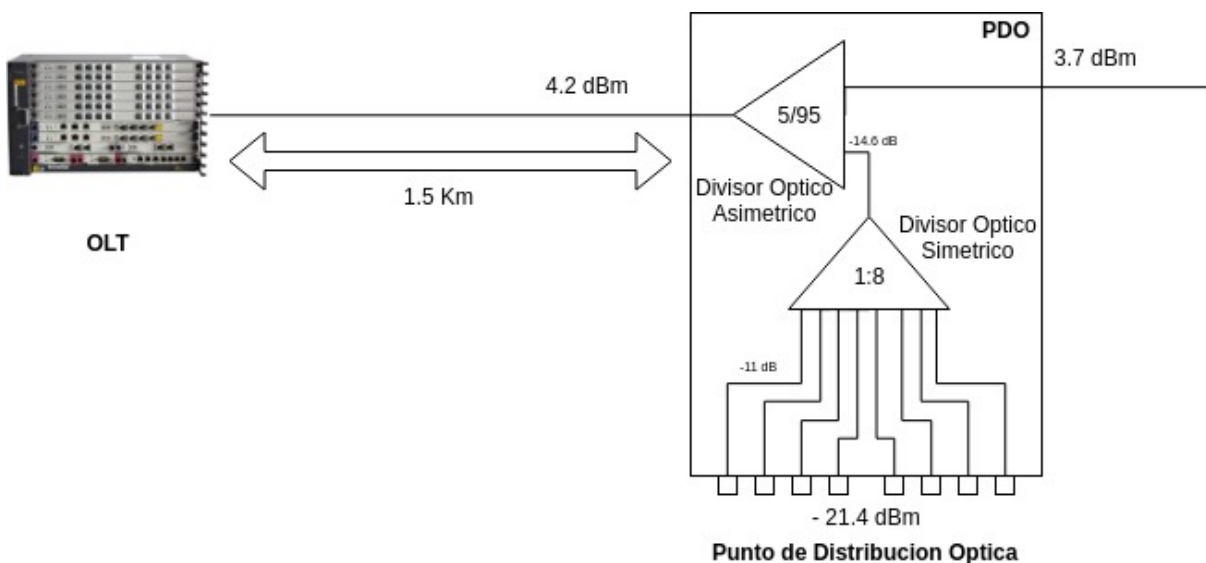
Por último queda calcular la Potencia de Salida de la PDO, para poder hacer el cálculo de la siguiente PDO. Este paso es más sencillo, ya que conociendo el Divisor Óptico Asimétrico utilizado, se puede calcular su potencia óptica de salida en su puerto 1 de la siguiente forma:

Continuando con el ejemplo anterior, tenemos:

$$P_{salida\ 1}(\text{Divisor Asimétrico}) = P_{in} - \text{Pérdida Inserción Divisor Óptico Asimétrico}_{\text{puerto 1}}$$

$$P_{salida\ 1}(\text{Divisor Asimétrico}) = 4.2\ \text{dBm} - 0.5\ \text{dB} = 3.7\ \text{dBm}$$

Con este último valor se completa el diseño de la PDO\_01. Con esto se puede continuar calculando los valores de las siguientes PDO.



**Figura 4.17.** Resultado completo de PDO 01

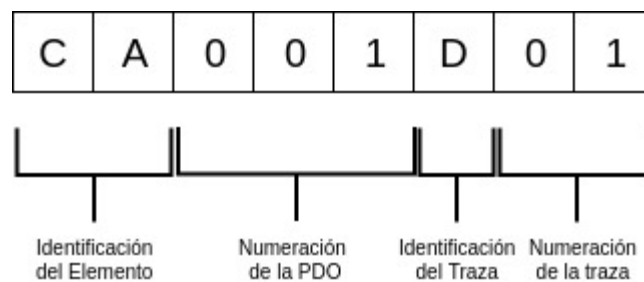
El proceso de cálculo para las siguientes PDO es exactamente el mismo que para la primera, sólo se deberá tomar como valor de distancia, la distancia entre PDO, no debe tomarse como valor de distancia, la distancia entre la PDO a analizar y la OLT. Esto sólo aplica para la primer PDO.

El proceso de cálculo finaliza cuando se alcanza la cantidad máxima de 128 puertos, el presupuesto óptico es insuficiente para tener valores óptimos en la PDO con un Divisor Asimétrico 50/50 o la distancia supera los 20 Km desde la OLT, Lo que ocurra primero.. Cuando el presupuesto óptico queda insuficiente para habilitar una nueva PDO, en la PDO anterior (qué sería la última PDO Viable), una buena práctica es colocar otro divisor óptico simétrico en el puerto 1 del divisor óptico asimétrico para no desperdiciar dicho hilo y aprovechar al máximo las conexiones disponibles (Siempre y cuando no se superen los 128 puertos de conexión total por Hilo Troncal).

## 4.6 Diseño Definitivo e Informe Final

Una vez ya establecidos todos los parámetros y valores del proyecto, se realiza lo que se conoce como Diseño Definitivo. Este último, al igual que en el pre-diseño, debe venir con la longitud de los tramos, acotados por la ingeniería realizada.

Las PDO deben estar nombradas con un estándar, esté queda a criterio del diseñador e ingeniero del proyecto. Una buena práctica que se recomienda es nombrar la PDO con el siguiente estándar:



**Figura 4.18.** Nomenclatura de PDO

- Identificación del Elemento
  - CA: Caja de Acceso
  - BE: Botella de Empalme
  - CG: Cruz de Ganancia
  - BD: Botella de Derivación
- Identificación de Traza:
  - D: Distribución
  - T: Troncal
  - S: Sangrado

- L: LAN

Los tramos deben ser fácilmente identificables por color, grosor y ubicación dentro de un mapa o software GIS.

Adicionalmente, se debe presentar un informe con cada PDO utilizada por Tramo, la misma debe estar nombrada y especificado con los siguientes ítems:

- Ubicación (Dirección)
- Coordenadas GPS
- Distancia desde la OLT
- Distancia desde la PDO anterior
- Potencia de entrada de la PDO
- Divisor óptico Asimétrico utilizado
- Divisor óptico Simétrico utilizado
- Potencia de Salida de la PDO
- Potencia de Salida a Clientes
- Esquema

Otro ítem que se debe presentar junto con el diseño es la tabla de conexiones planificadas. Esta debe tener:

- Columna 1: Identificación de la PDO
- Columna 2: Cantidad Total de Puertos
- Una columna por cada Puerto de la PDO con los clientes planificados
- Porcentaje de uso planificado por PDO
- Porcentaje de espacio libre por PDO

El informe de tramos debe presentarse con los siguientes ítems:

- Longitud total del tramo
- Cantidad de Hilos por tramo
- Funcionalidad del Tramo
- Cantidad de PDO asignadas al tramo
- Referencia de límite norte del tramo
- Referencia de límite sur del tramo
- Referencia de límite este del tramo
- Referencia de límite oeste del tramo
- Esquema, diagrama, Archivo KMZ o GIS

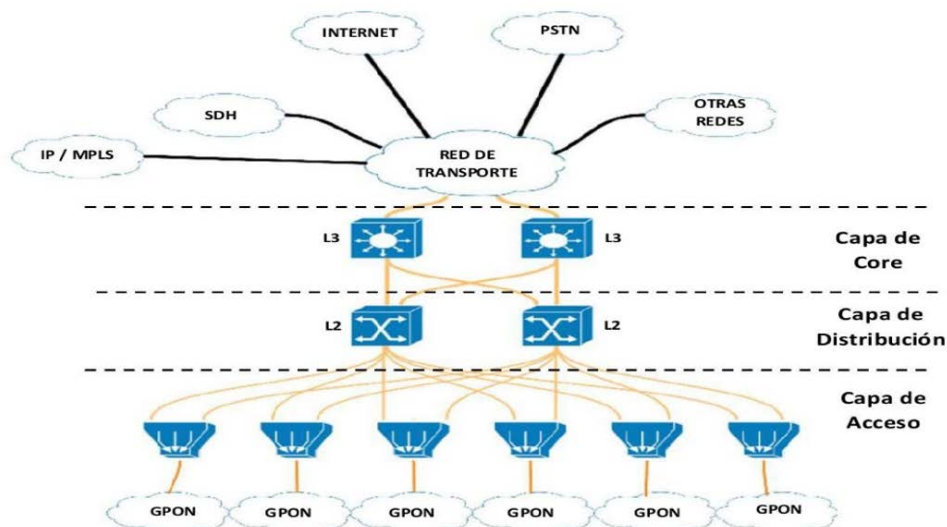
Cómo cada proyecto es distinto, se puede adicionar toda la información relevante que se considere útil a la hora de llevar a cabo dicho proyecto. Un ejemplo claro de este proyecto es especificar qué PDO será destinada a cada Cámara, el tipo de cámara que se utilizará y el ancho de banda que consume cada cámara.

Cualquier otra información puede considerarse útil, siempre y cuando sea relevante para el proyecto.

## Diseño Final de red GPON

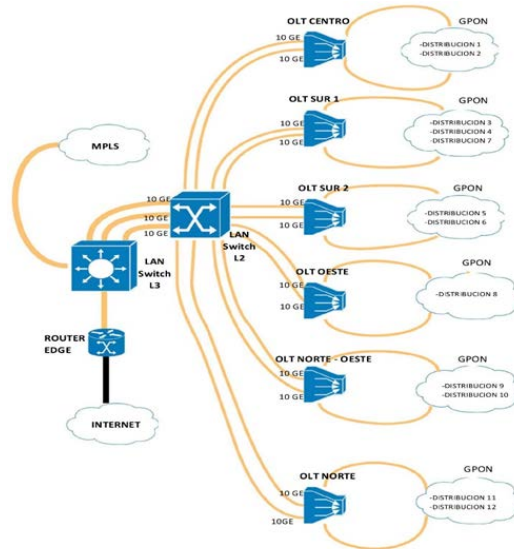
A partir del diseño y cálculo de la red GPON se puede determinar el equipamiento necesario de cada Nodo que permitirá proveer el servicio de transporte de streaming de video. En primer lugar se necesita establecer el tráfico máximo que cursara la red que garantice una calidad de servicio predeterminada y, que para ello, se segmentan la red tres capas que posibilitará discriminar el tipo de servicio, tráfico cursado y QoS garantizado por cada equipo de la red: capa de acceso, capa de distribución y capa de Core.

- o **Capa de acceso:** esta capa tiene la función de proveer conectividad y concentrar todo el tráfico desde y/o hacia la red y cada usuario (hablando de usuario a todo elemento de red que solicite u origine tráfico desde y/o hacia la red). La misma queda definida desde cada elemento de terminación óptica (ONT - ONU) que conecta cada usuario de red hasta el equipamiento de red que concentra todo el tráfico hacia la capa de distribución (OLT), es decir, se define como las redes GPON.
- o **Capa de distribución:** esta capa tiene la función de conmutar los distintos servicios desde y/o hacia las distintas redes de telecomunicaciones interconectadas (capa de Core) y los usuarios (capa de acceso); las fronteras quedan determinadas desde cada OLT hasta el equipo que concentra el tráfico hacia las distintas redes. La misma queda integrada por las redes Metro Ethernet que garantizaran el QoS para los distintos servicios según corresponda, discriminando los mismos a partir de la encapsulación de cada uno en diferentes VLAN.
- o **Capa de Core:** esta capa se podría considerar la más crítica de las tres, debido a que sobre esta se concentrará todo el tráfico de las distintas redes y, por lo tanto, tendrá que soportar, diferenciar y enrutar a cada red que corresponda respetando las distintas prestaciones que se deban garantizar para los distintos tipos de servicio. Los equipos que llevarán a cabo estas funciones son LAN Switch de capa 3 o también llamados Switch multiservicio.



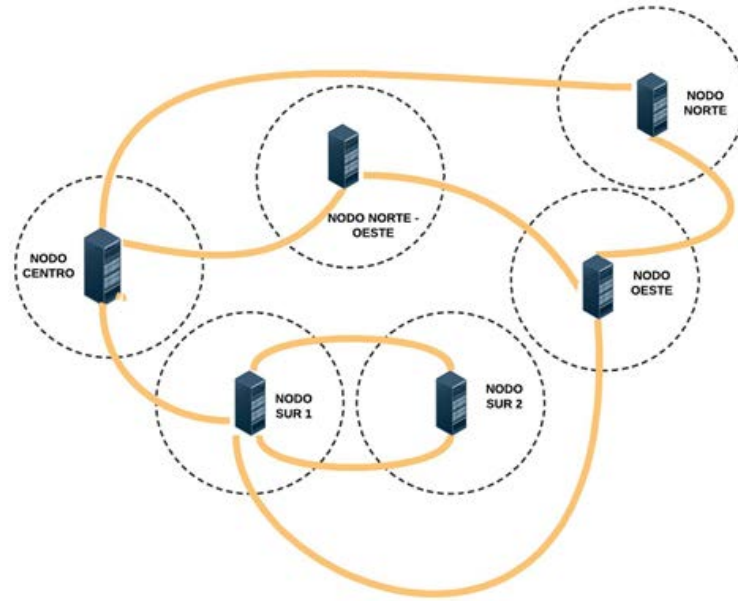
*Figura 4.19. Modelo Simplificado de Capas de Transporte de red GPON*

El modelo simplificado de la red de transporte para el streaming de video de videovigilancia quedaría de la siguiente forma:



*Figura 4.20. Diseño esquemático final de red GPON*

Como se comentó en secciones anteriores, al tratarse de un servicio de videovigilancia, aplicar un sistema redundante contra cualquier fallo es una característica fundamental que debe presentar el diseño de la red y, la cual debe ser tanto en los enlaces físicos como a nivel de hardware. En la figura anterior, por simplicidad se omitió la redundancia a nivel de equipos, pero es necesario dejar en claro que en el diseño esta contemplado que por cada equipo activo se conecta otro de backup, y por lo tanto los mismos con soporte de protocolos de “failover”. Por otro lado, a nivel de enlace físico cada nodo y distribución GPON cuentan de un enlace redundante, en donde la ultima se puede apreciar sobre el diseño de la red GPON, mientras que la redundancia de nodos se muestra a continuación:



*Figura 4.21. Modelo simplificado de redundancia de la red*

# **SECCIÓN V**

## **MATERIALES Y MARCAS**

*“Un producto puede ser rápidamente anticuado,  
pero una marca de éxito es atemporal”*

*Stephen King*

*Escritor Estadounidense (1947 - Actualidad)*

## CAPÍTULO 5: MATERIALES Y MARCAS

### 5.1 Materiales del Proyecto

En todo proyecto de Telecomunicaciones es necesario saber los materiales que se utilizaran para concretar dicho proyecto. Ya que un proyecto presentado sin sus materiales, queda sólo como una idea, un concepto o una planificación. Son los materiales, lo que realmente determinan si el proyecto es viable o no.

En el momento de llevar a cabo el análisis y diseño de la red de transporte, un parámetro crítico es determinar los recursos necesarios que se deben asignar a cada flujo de video generado por las diferentes cámaras de videovigilancia, asegurando de esta forma la calidad de servicio. Para aplicaciones críticas como es streaming de video para un sistema de videovigilancia, se debe asegurar que los recursos necesarios se mantengan estables e invariantes:

- **Ancho de banda:** para diferentes calidades de video, el ancho de banda necesario en la conexión variará, siendo que a mayor calidad mayor necesidad de este recurso. Si no se asegura el ancho de banda necesario, el resultado será pérdidas de cuadros de video.
- **Latencia:** Para videos de alta calidad, el procesamiento necesario en lado de la fuente (el que genera el flujo de video) como el destino requerirán de un mayor tiempo de procesamiento para codificar o decodificar el flujo de video según se trate de la fuente o el destino respectivamente.
- **Tasa de error:** Según el tipo de medio (radioenlaces, fibra óptica, coaxial, etc.), la tasa de error variará, limitando la calidad de video que se podrá transmitir.

Actualmente, la necesidad de aplicaciones de video en tiempo real supone mayor calidad de video a medida que la electrónica así lo permita y, en consecuencia, una mayor demanda en ancho de banda. Por otro lado, el mercado actual de cámaras de videovigilancias ofrece tecnologías que permiten generar video en calidad HD (High Definition) y full HD. Partiendo de los requerimientos de red que se necesita para la transmisión para distintos flujos de video sobre una red IP, se puede determinar el equipamiento necesario que va a garantizar el servicio de transporte de forma continua y con la calidad requerida:

CALIDAD	ESTANDAR DE COMPRESION	bps SIN COMPRESION (video)	bps CON COMPRESION (video)	Audio formato AAC	Mbps necesario del enlace	LATENCIA MAXIMA
1920x1080	MPEG-2	2,48 Gbps	8 a 34 Mbps	128 kbps	9 a 35 Mbps	50 ms
	H.264		7,68 Mbps		9 Mbps	
1280x720	MPEG-2	1,10 Gbps	5 a 20 Mbps	64 kbps	6 a 21 Mbps	50 ms
	H.264		2,56 Mbps		3,5 Mbps	
720x576	H.264	497,6 Mbps	1,85 Mbps	64 kbps	2,5 Mbps	50 ms
640x480	H.264	368,64 Mbps	1,2 Mbps	64 kbps	1,3 Mbps	50 ms
ITU-R digital TV	MPEG-2	166 Mbps	3 a 6 Mbps	64 kbps	3,2 a 6,2 Mbps	100 ms
Tv Broadcast	MPEG-2	-	2 a 4 Mbps	64 kbps	2,2 a 4,4 Mbps	100 ms
VCR	MPEG-2	-	1,2 Mbps	64 kbps	1,4 Mbps	100 ms
Videoconferencia	H.261	-	0,1 Mbps	64 kbps	1,3 Mbps	400 ms

**Tabla 5.1.** Análisis de requerimientos de cámaras de Seguridad

Con los beneficios que se pueden obtener de una red GPON, asegurar una calidad de servicio para un flujo de video con una calidad FULL HD (1920X1080) y bajo un formato de compresión en MPEG-2, resulta sencillo de acuerdo con los 1,25 Gbps en el enlace ascendente por usuario que determina el estándar. La complejidad del diseño y determinación de los equipos radica en el ancho de banda total (suma de los tráficos individuales generados) que se deberá transportar a los servidores que procesarán el mismo.

### Elementos de la red GPON

NODO	DISTRIBUCION	CANTIDAD DE CAJAS NAP	PUERTOS POR CAJA	CONSUMO POR CAMARA	TRAFICO POR DISTRIBUCION	TRAFICO POR NODO
NODO CENTRO	DISTRIBUCION 1	56	8	5 Mbps	2,24 Gbps	4,04 Gbps
	DISTRIBUCION 2	45	8	5 Mbps	1,8 Gbps	
NODO SUR 1	DISTRIBUCION 3	15	8	5 Mbps	0,64 Gbps	2,88 Gbps
	DISTRIBUCION 4	37	8	5 Mbps	1,48 Gbps	
NODO SUR 2	DISTRIBUCION 7	19	8	5 Mbps	0,76 Gbps	1,96 Gbps
	DISTRIBUCION 5	24	8	5 Mbps	0,96 Gbps	
NODO OESTE	DISTRIBUCION 6	25	8	5 Mbps	1 Gbps	1,72 Gbps
	DISTRIBUCION 8	43	8	5 Mbps	1,72 Gbps	
NODO NORTE – OESTE	DISTRIBUCION 9	52	8	5 Mbps	2,08 Gbps	2,48 Gbps
	DISTRIBUCION 10	10	8	5 Mbps	0,4 Gbps	
NODO NORTE	DISTRIBUCION 11	14	8	5 Mbps	0,56 Gbps	1,2 Gbps
	DISTRIBUCION 12	16	8	5 Mbps	0,64 Gbps	
<b>CONSUMO TOTAL DE LA RED</b>						<b>14,28 Gbps</b>

**Tabla 5.2.** Cantidad de PDO (Cajas NAP) utilizadas por cada traza de Fibra Óptica

### 5.1.1 Lista de materiales de un proyecto de Fibra Óptica

Los proyectos de telecomunicaciones no son nada sencillos, ya que es necesario detallar hasta el más mínimo detalle para que una conexión se realice correctamente.

Uno de esos detalles necesarios es la lista de materiales. Esta debe contener hasta el más sencillo equipo para poder realizar las conexiones correctamente.

A lo largo del capítulo anterior se habló mucho del criterio y de los valores establecidos por los fabricantes. Si bien es un hecho que cada fabricante tiene sus valores específicos para cada material que fabrica, existen ciertos estándares de valores que se utilizan a nivel global para tener

una referencia básica de equipamiento y cómo deben ser solicitados cuando los mismos son pedidos para su compra.

Aquí se presenta la lista de materiales comúnmente usados en proyectos de FTTx:

### 5.1.1.1 Materiales Ópticos Pasivos

Los materiales Ópticos Pasivos son aquellos capaces de transmitir información sin la necesidad de tener una conexión o fuente de alimentación eléctrica.

Artículo	Tipo	Unidad de medida	Precio Unitario
Fibra Óptica	ADSS 12 Hilos	Metros	AR\$ 41.85
Botella de empalme	Capacidad de 12 Hilos	Unidad	AR\$ 2790
Caja de Acceso	Capacidad de 8 Puertos	Unidad	AR\$ 2232
Divisor Óptico Simétrico	1:2	Unidad	AR\$ 558.30
Divisor Óptico Simétrico	1:4	Unidad	AR\$ 558.30
Divisor Óptico Simétrico	1:8	Unidad	AR\$ 558.30
Divisor Óptico Simétrico	1:16	Unidad	AR\$ 558.30
Divisor Óptico Simétrico	1:32	Unidad	AR\$ 558.30
Divisor Óptico Simétrico	1:64	Unidad	AR\$ 558.30
Divisor Óptico Asimétrico	5/95	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	10/90	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	15/85	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	20/80	Unidad	AR\$ 446.40

Divisor Óptico Asimétrico	25/75	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	30/70	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	35/65	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	40/60	Unidad	AR\$ 446.40
Divisor Óptico Asimétrico	45/55	Unidad	AR\$ 446.40
Conector Rápido	Tipo SC/APC	Unidad	AR\$ 80
Acoplador	Tipo SC/APC - SC/APC	Unidad	AR\$ 17
Cable Drop	Figura 8 de 2 Hilos	Metros	AR\$ 8.50
ODF	12 Puertos SC/APC	Unidad	AR\$ 5580
PatchCord	Tipo SC/APC - SC/APC	Unidad	AR\$ 300
PatchCord	Tipo SC/APC - LC/UPC	Unidad	AR\$ 300

**Tabla 5.3.** Lista de Materiales Ópticos Pasivos

### 5.1.1.2 Materiales Ópticos Activos

Artículo	Tipo	Unidad de medida	Precio Unitario
OLT	Capacidad Splitteo 1:128 con administración por GUI y 16 Puertos PON	Unidad	AR\$ 139500
ONT	1 Puerto PON 1 Puerto Ethernet	Unidad	AR\$ 2000
LAN Switch	4 o más Puertos SFP+	Unidad	AR\$ 5312
SFP+	20 Km Simple Fiber 1310/1550 nm	Unidad	AR\$ 2500

GPON-SFP	Clase C+	Unidad	AR\$ 2000
----------	----------	--------	-----------

**Tabla 5.4.** Lista de Materiales Ópticos Activos

### 5.1.1.3 Materiales de Soporte

Los materiales de soporte, son aquellos utilizados en planta externa para sostener o guiar la fibra en su trayecto.

Artículo	Tipo	Unidad de medida	Precio Unitario
Herraje de Suspension	7 mm Ø	Unidad	AR\$ 185
Herraje de Retención	7 mm Ø	Unidad	AR\$ 220
Cruz de Ganancia	50 cm	Unidad	AR\$ 550
Fleje	¾"	Metros	AR\$ 54
Cadena	Galvanizada de 8 mm	Kg	AR\$ 271
Herraje de retención Drop (Drop Fish)	Plano	Unidad	AR\$ 150
Grampa	Fratacho	Unidad	AR\$ 100
Caja Estanco	100x300x450 mm	Unidad	AR\$ 2860
Roseta	Para fibra óptica con 2 puertos Tipo SC/APC	Unidad	AR\$ 250

**Tabla 5.5.** Tabla de Materiales de Soporte de Fibra Óptica.

### 5.1.2 Descripción de materiales

En este apartado se especificará cada uno de los materiales listados anteriormente que intervienen en el proyecto de Fibra Óptica.

- Fibra Óptica:** es un medio de transmisión en redes de telecomunicaciones que por su flexibilidad, los conductores ópticos pueden agruparse formando cables. Las fibras usadas en este campo son de plástico o de vidrio y algunas veces de los dos tipos. Por la baja atenuación que tienen, las fibras de vidrio son utilizadas en medios interurbanos. Normalmente se comercializa en rollos o bobinas de madera de una longitud de 4000 metros o de longitudes más largas por encargo al fabricante.



*Figura 5.1. Rollo de Fibra Óptica*

- **Botella de empalme:** La caja de empalmes de cables de fibra óptica por fusión permite proteger los empalmes de cables con los niveles máximos de estanqueidad, calidad y fiabilidad.

Su instalación se puede realizar en postes o en tendidos aéreos.

Sus características mecánicas le confieren una alta resistencia a impactos y compresión, así como a la penetración de agua.



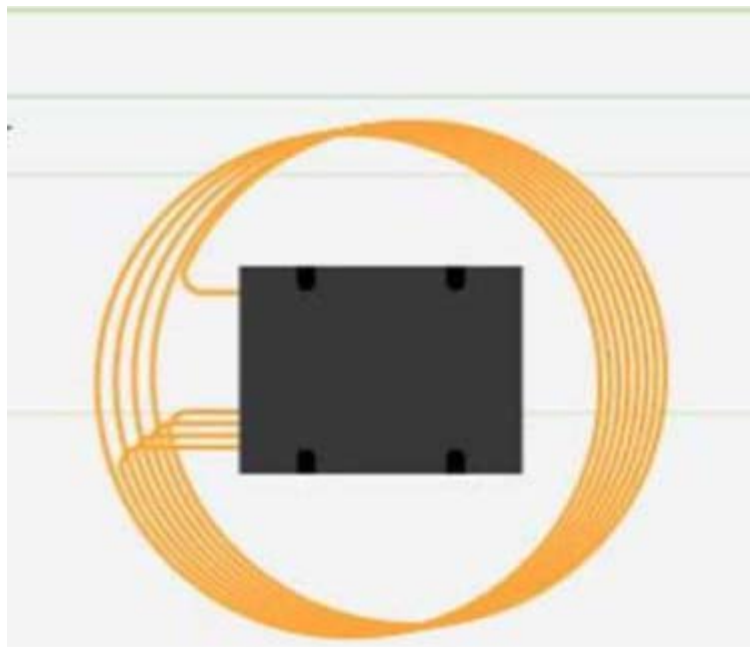
*Figura 5.2. Botella de Empalme*

- **Caja de Acceso (PDO):** Una caja de distribución/derivación que actúa como CTO o CD, con posibilidad de configurarse en modo fusión o preconectorizada, válida para uso indoor y outdoor gracias a sus excelentes calidades. El diseño y materiales utilizados le confiere altas prestaciones de estanqueidad, resistencia al impacto y a la compresión.



*Figura 5.3. Caja de Acceso*

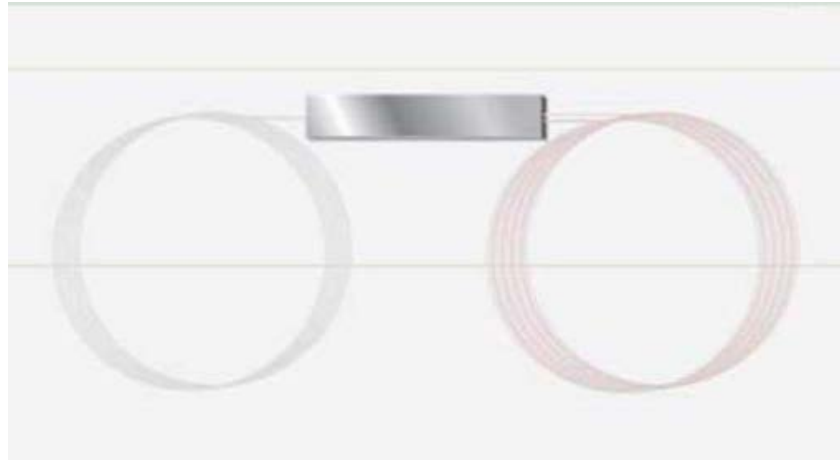
- **Divisor Óptico Simétrico:** es un divisor de potencia de señal. Permite implementar la arquitectura punto - multipunto usada en FTTH. Se caracteriza por presentar la misma atenuación cada uno de sus puertos de salida.



*Figura 5.4. Divisor Óptico Simétrico*

- **Divisor Óptico Asimétrico:** Los divisores desbalanceados están constituidos por una fibra de entrada y 2 fibras de salida, las cuales dividen la potencia de la señal óptica de forma asimétrica entre ellas. Es decir, la potencia de la señal óptica se puede dividir en

proporciones diferentes según la necesidad de cada aplicación. Se utilizan principalmente en redes ópticas FTTx / PON y en redes HFC (TV por cable).



*Figura 5.5. Divisor Óptico Asimétrico*

- **Conector Rápido:** El conector SC/APC rápido incorpora un nuevo sistema de herramienta de cuña desechable, eliminando la necesidad de herramientas expansivas especializadas. Los conectores SC rápidos pueden terminarse con fibra de 0,25 y 0,9 mm de diámetro.



*Figura 5.6. Conector Rápido*

- **Acoplador:** Un acoplador de fibra óptica, también conocido como conector de fibra óptica, proporciona una terminación para un extremo de la fibra óptica, que sirve para conectar o desconectar rápidamente una fibra de otra.



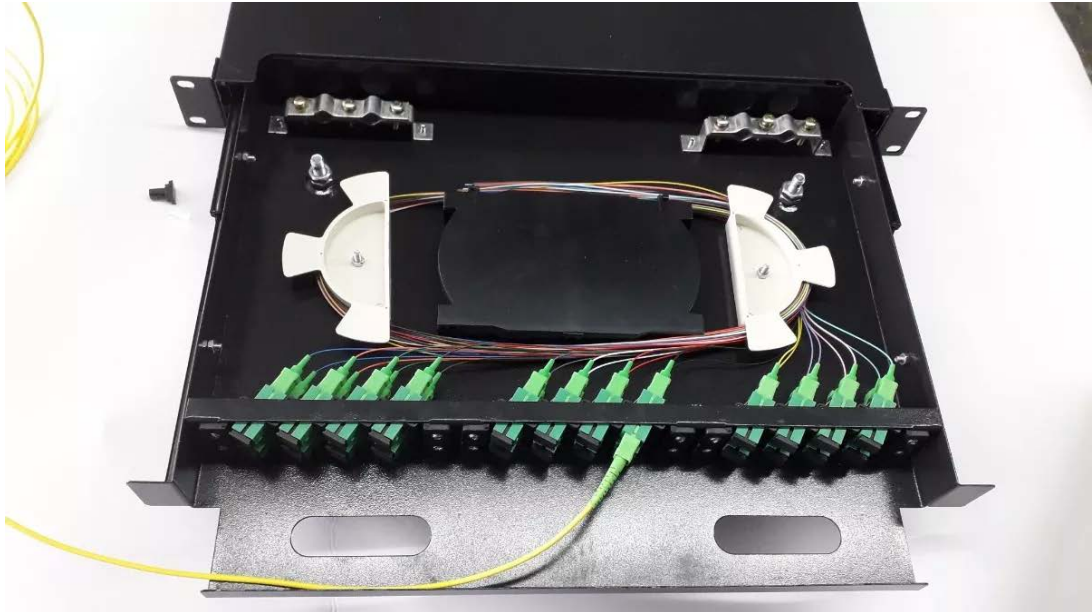
*Figura 5.7. Acoplador de Fibra Óptica*

- **Cable Drop:** es un cable de naturaleza óptica que resiste a inclemencias dado que su núcleo está cubierto por fuera por un polímero que además no es inflamable; este cable lleva un refuerzo conformado por alambre galvanizado de acero que le ofrece aún mayor resistencia, y por lo tanto es un componente que resiste muy bien entornos de intemperie.



*Figura 5.8. Rollo de Fibra Óptica Drop*

- **ODF (Distribuidor de Fibra Óptica):** El distribuidor de fibras ópticas ODF facilita la centralización, interconexión y derivaciones de cables de F.O. en un rack normalizado de 19". El sistema está diseñado para combinar altas densidades de fibras con facilidad de utilización, seguridad y sencillez de mantenimiento.



*Figura 5.9. Distribuidor de Fibra Óptica*

- **Patchcord:** Un Patch Cord o “Cable de Enlace” permiten la interconexión entre los ODF y los Equipos de Comunicaciones. Estos cables reciben mucha manipulación por lo que vienen recubiertos de mucho Kevlar.

Un dato a tomar en cuenta son las palabras Simplex o Dúplex. Que está relacionado con el número de hilos del mismo; en caso de ser solo un hilo se llama Simplex y de ser dos hilos se le conoce como Duplex.



*Figura 5.10. Patchcord de Fibra Óptica (Tipo LC/UPC - LC/UPC Duplex)*

- **OLT (Terminal de línea óptica):** es un dispositivo que sirve como el punto final del proveedor de servicios de una red óptica pasiva. Proporciona dos funciones principales:
  - realizar la conversión entre las señales eléctricas utilizadas por el equipo del proveedor de servicios y las señales de fibra óptica utilizadas por la red óptica pasiva.

- coordinar la multiplexación entre los dispositivos de conversión en el otro extremo de esa red (llamados terminales de red óptica o unidades de red óptica).



*Figura 5.11. Terminal de Línea Óptica .*

- **ONT (Terminal de Red Óptica):** es un dispositivo que sirve como punto de terminación de red entre el bucle local de la compañía y el cableado de la instalación del cliente. A veces están instalados al aire libre donde permiten acceso a la estación de cableado y sirven como un punto de prueba conveniente para la verificación de la integridad de la llegada de la señal de fibra óptica así como del cableado hacia el interior del edificio del abonado.



*Figura 5.12. Terminal de Red Óptica*

- **LAN Switch (Switch de Capa 3):** es un switch que combinan algunas de las funciones de un Switch Capa 2 y las de un router.



*Figura 5.13. LAN Switch o Switch de Capa 3*

- **SFP (Small Form-Factor Pluggable):** es un transceptor insertable en caliente que se emplea para servir de interface entre un equipo de comunicaciones (switch, router, conversor de medios) y un enlace por fibra óptica.



*Figura 5.14. SFP (Small form-factor pluggable)*

- **GPON-SFP:** es un tipo de transceptor óptico gigabit que se utiliza en el sistema GPON y que cumple con la norma ITU-T G.984.2. Se trata de un módulo bidireccional con un conector SC y que funciona a través de un cable de fibra óptica monomodo simplex. Este módulo transmite y recibe señales de diferentes longitudes de onda entre la OLT, en el lado del proveedor, y la ONT, en el lado de los usuarios finales. Los SFP de GPON utilizan tanto los datos en sentido ascendente como en sentido descendente mediante la multiplexación por división de longitud de onda (WDM).



*Figura 5.15. GPON SFP*

- **Herraje de Suspension:** Herraje de suspensión está diseñado para suspender y repartir esfuerzos en el cable ADSS mediante su sujeción suave a través de su cojín de neopreno.



*Figura 5.16. Herraje de Suspension*

- **Herraje de Retención:** Herraje de retención está diseñado para realizar la tensión entre dos puntos de un tendido de cable tipo ADSS mediante la sujeción suave a través de su cojín de neopreno.



*Figura 5.17. Herraje de Retención*

- **Cruz de Ganancia:** Una cruz de ganancia es un elemento de soporte de una red aérea, donde se deja cierto número de vueltas de reserva de fibra óptica para realizar trabajos posteriores por posibles eventualidades o planificados a futuro.



*Figura 5.18. Cruz de Ganancia*

- **Fleje metálico:** Un fleje es una cinta continua de material utilizada tanto en la industria como materia prima; en el transporte de mercadería para la sujeción de cargas y en la construcción como elemento de fijación. Sus materiales y dimensiones varían según su campo de aplicación.



*Figura 5.19. Fleje Metalico*

- **Herraje de Retención Drop:** Un herraje de retención tipo Drop es un material utilizado para tensar cables tipo drop, de decir , cables más flexibles que fibra óptica común pensada para exteriores.



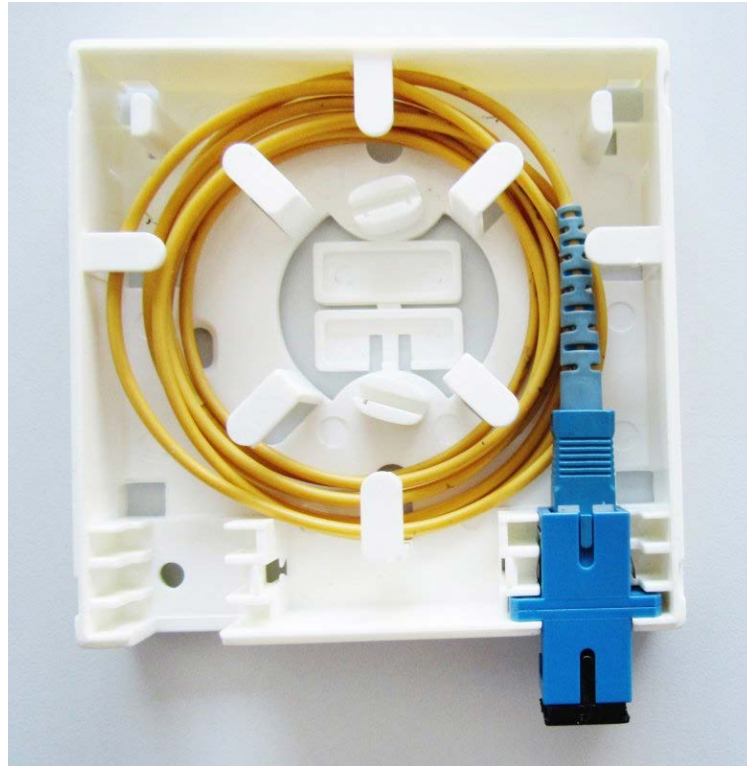
*Figura 5.20. Herraje de Retención Drop*

- **Grampa:** Este tipo de anclaje se utiliza para fijar el cable a la pared o mampostería.



*Figura 5.21. Grampa tipo Fratacho*

- **Roseta:** La roseta de abonado para fibra óptica es el punto terminal óptico ó especie de caja mural que permite hacer la terminación y el acondicionamiento del cable óptico de acometida que accede al domicilio del cliente.



*Figura 5.22. Roseta de Fibra Óptica*

## 5.2 Elección de Marcas

### 5.2.1 Elección de equipos activos

La elección de marca es un proceso que generalmente en un proyecto de telecomunicaciones se realiza al inicio del mismo.

En mucho de estos proyectos, generalmente en los que corresponden a realizar enlaces inalámbricos, es ver los equipos, seleccionar en base a lo que se pretende el equipo que más se adecue y luego proyectar los cálculos en base al equipo adquirido o que se va a adquirir. Particularmente, en un proyecto de FTTH, la elección de equipo debe hacerse en última instancia, ya que una vez realizado el cálculo que determinarán los límites del proyecto, se elige el o los equipos que cumplan con los requisitos con los que planea llevar a cabo la implementación del mismo.

En este proyecto en particular se tuvieron en cuenta varias marcas de equipos, y se analizó según los requerimientos del mismo. En cada sección, se detalla los parámetros inherentes al cálculo realizado.

Partiendo del equipo cabecera, tomamos como requisito indispensable la cantidad de puertos PON que se necesitará por cabecera. Las marcas más comunes en el mercado son las siguientes:

- Huawei

- FiberHome
- V-SOL
- Ubiquiti

Cada marca con sus respectivos productos, siendo estos:

- **Huawei: con la serie MA5800.**

- Las MA5800, son dispositivos de acceso de múltiples servicios. Estas emplean arquitectura distribuida y soporte para PON/10G PON/TWDM PON en una sola plataforma. Las MA5800 agregan servicios de transmisión sobre diferentes medios, proporciona soporte para transmisión de video 4K y 8K y además implementa servicios basados en virtualización.

Las MA5800 pueden satisfacer las demandas de los operadores de una red con capacidades Gigabyte de amplia cobertura, banda ancha más rápida y conectividad más inteligente. Para operadores, el MA5800 puede proporcionar la implementación de un plan hogar inteligente y campus totalmente óptico, conectar servicios de usuarios domésticos y empresariales, backhaul móvil e internet de las cosas en un sistema unificado. Reduciendo las salas de equipos en la oficina central, simplificar la arquitectura de la red y minimizar los costos de operación y mantenimiento.

Según el modelo que se elija, se pueden acceder a equipos con distintas capacidades de puertos, siendo estos:

- 272 Puertos GPON/EPON (Modelo MA5800-X17)
- 240 Puertos GPON/EPON (Modelo MA5800-X15)
- 112 Puertos GPON/EPON (Modelo MA5800-X7)
- 32 Puertos GPON/EPON (Modelo MA5800-X2)



*Figura 5.23. OLT Huawei MA5800-X7*

- **FiberHome: con las serie AN55X16**

- La serie de OLT AN55X16 producida por FiberHome es la serie con equipos más FTTH más avanzados. Los mismos proporcionan interfaces de usuario GPON/EPON/10GPON/P2P e interfaces de enlaces descendentes 1GE/10GE.

Fiberhome está más enfocada a las necesidades de los clientes, presentando soluciones más simples a diferencia de otras marcas, manteniendo la robustez para la cantidad de usuarios necesarios.

FiberHome está enfocado a ISP grandes con una infraestructura ya armada o en proceso de despliegue.

El AN5516-06 es un producto de acceso integrado EPON / GPON con capacidad intermedia que ofrece FiberHome. Es un equipo compacto de oficina central de clase portadora. Satisface los requisitos de redes para FTTH, FTTB, backhauling de estación base y servicios de línea privada. Admite múltiples servicios como VoIP, TDM, datos, IPTV y CATV para cumplir con los requisitos de Triple-play. Además, se usa junto con el extremo remoto ONU formando una función de capa de convergencia completa.



*Figura 5.24. OLT FiberHome AN5516-06*

- **V-SOL: con la serie V1600D**

- V-SOLUTION se dedica a el desarrollo, la producción y las ventas de comunicaciones de fibra óptica y la investigación de VoIP Gateway. Basado en 15 años de experiencia en marketing de Executive Management Team, V-SOLUTION podría ofrecer una serie completa de productos en los campos de FTTH y VoIP Gateway, convirtiéndose en una popular empresa de I + D en el mundo.

De todo tipo de soluciones GPON/EPON/P2P/VoIP

- a. Unas series de ONU, Wi-Fi, VoIP, CATV/RF, Grado industrial, POE reversible, cascaras metálicas o mixtas de ONU;
- b. Unas Series de los OLT con 2,4,8 y 16 puerta y L2, L3 OLT para opcinar;
- c. VoIP gateway con de 2 a 64 puertas para opcinar.

Además, si el MOQ cumple con el requisito, podríamos ofrecer un buen servicio personalizado.

**Buena interoperabilidad:** ONU son compatibles con HUAWEI, ZTE, Fiberhome, ALU, DASAN, BDCOM, GCOM y otros populares OLT. VoIP es compatible con los call agentes de HUAWEI, ZTE, ALU y Asterisk.

**Buen apoyo y servicio:** hay 7 miembros especializados y expertos equipo de apoyo cada semana a su servicio.

**Más de 3 millones de productos funcionan de manera estable en el mundo:** hay más de 3 millones de productos desplegadas y funcionan bien en más de 60 países y 300 clientes.

**Buen servicio y apoyo de tecnología en línea y en el sitio:** el equipo de ingenieros está allí para apoyar 6 \* 12 horas a la semana.

**Amplia aplicación en el mundo:** hay más de 3 millones de producto que se despliegan y funcionan bien a 300 clientes de más de 60 países.



*Figura 5.25. OLT V-SOL V1600G1*

- **Ubiquiti: con la serie U-Fiber**

- La configuración de una red de fibra se volvió tan fácil como configurar un teléfono inteligente. Diga adiós a las líneas de comando, los manuales y las licencias de soporte pago. Presentamos UFiber OLT, una solución de fibra que cualquiera puede implementar.

**Gestión Centralizada:** Configure fácilmente el OLT y administre múltiples sitios usando el completo software UNMS™ (Ubiquiti® Network Management System).

**Conectividad de Clientes y Enlaces:** El OLT cuenta con ocho puertos PON para conectar hasta 1024 dispositivos Nano G, y dos puertos SFP+ que brindan hasta 20 Gbps de conectividad de enlace.

**Versatilidad de Alimentación:** Con bajo consumo de energía, la OLT ofrece dos compartimentos de alimentación modulares. La primera bahía incluye un módulo de alimentación CA / CC. El segundo compartimento puede albergar un módulo de alimentación opcional, ya sea una copia de seguridad de AC / DC o un módulo de alimentación de DC / DC.

**Diseño para montaje de Rack:** El chasis de metal de 1U de altura permite un montaje conveniente en un rack de tamaño estándar de 19" de ancho.

La serie UFiber se caracteriza por no tener que realizar configuraciones complejas para poder implementar un sistema de FTTH complejo y robusto. Gracias a la interfaz gráfica que se adquiere sin licencia aparte, se puede gestionar toda la red con gran facilidad. Como bien lo promocionan a sus equipos UFiber, es una red Plug and Play.



*Figura 5.26. OLT Fiber UF-OLT-8*

Analizado cada uno de los casos, teniendo en cuenta los requisitos de este proyecto. Se tomó en cuenta no sólo la cantidad de puertos PON necesarios, sino también la capacidad de escalabilidad, integración y soporte técnico de los equipos.

En este caso en particular, se optó por la línea Huawei, ya que no sólo brinda la seguridad respaldada por una empresa con años de trayectoria y siendo considerada como una empresa de telecomunicaciones número uno en su campo, sino también, por su integración con equipos ONT de otras compañías, lo que permite mayor versatilidad a la hora de elegir equipos, y compatibilidad con otros equipos que pueden prestar más prestaciones.

Del lado de integración de servicios, Huawei brinda equipos de nivel carrier, es decir equipos con capacidades de transporte de alto nivel, pasando por redes OTN, redes MPLS, etc hasta redes WAN y LAN.

Esta característica de integración de servicios con una misma marca, no la posee ninguna de las anteriores mencionadas. Este motivo es importante destacar, ya que al tener esta integración, podemos afirmar que la compatibilidad entre ellos será completa.

Otro punto a tener en cuenta, que muchas empresas no consideran al momento de realizar la elección de una marca de equipos es el “soporte técnico”. Muchas personas si bien son conocedoras de redes, no son especialistas en una marca en particular, por lo que siempre se estará recurriendo al fabricante, es decir a su número de soporte técnico, ante cualquier inconveniente que se le pueda presentar al encargado de los equipos en cuestión, no sólo en el aprovisionamiento, sino también luego de que el mismo sea puesto en marcha, pudiendo ser una actualización de software, un rollback de firmware, o un problema o suceso que acontezca en algún momento del uso del equipo.

Si bien V-SOL y FiberHome presentan soluciones similares a Huawei, estos no poseen la capacidad de integración de servicios con su misma línea como si la tiene Huawei.

Además, viendo hacia futuras investigaciones o proyectos, se puede integrar más equipos de la misma línea sin tener que estar pendientes de la compatibilidad y de esta forma limitando la escalabilidad del proyecto.

## 5.2.2 Elección de materiales pasivos y herrajes

En este apartado se analizará las distintas marcas de los equipos pasivos y herrajes, cómo se vio en el listado anterior, donde tenemos distintas medidas de cada uno, y en este caso ese es el factor clave a analizar.

Una buena marca tanto de equipos pasivos como herrajes se caracteriza por poseer distintas medidas para satisfacer las necesidades del cliente.

### 5.2.2.1 Elección de la Fibra Óptica y Elementos ópticos pasivos

En Argentina, se tienen distintos proveedores de fibra óptica, donde si bien la mayoría ya trabaja con el estándar de tamaños de fibra óptica, algunos poseen otras medidas, los cuáles pueden presentar una ventaja o un problema, dependiendo de la perspectiva del proyecto.

En el caso de la fibra óptica, tenemos como medidas estándar a tomar, el diámetro de la vaina en forma transversal, pudiendo ser está de:

- Fibra de 12 Hilos: 7 a 8 mm de diámetro
- 24,36 y 48 Hilos: 8 a 9 mm de diámetro
- 72 y 96 Hilos: 9 a 10 mm de diámetro
- 144 Hilos: 12 mm de diámetro

¿Porque es importante conocer el diámetro de la fibra óptica? El diámetro es importante para saber los herrajes que se usarán para sostener dicha fibra en el caso de la fibra óptica Autosoportada. En el caso de la fibra óptica Antirroedor (tipo NCR), permitirá determinar el tipo de canalización que se deberá usar.

Para este proyecto se tomó como referente al proveedor de fibra optica EXO Soluciones Telecomunicaciones. Este ofrece tres opciones de fibra óptica:



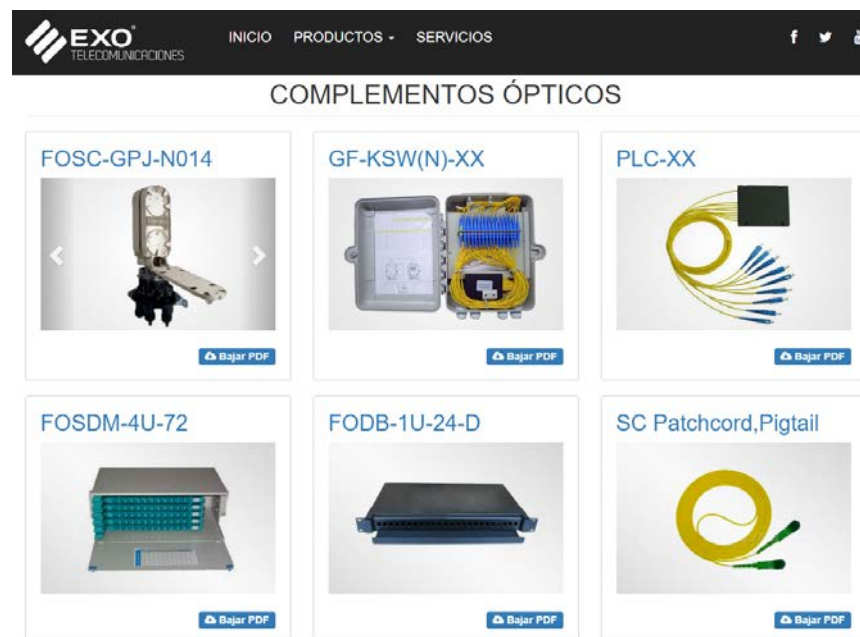
The screenshot shows the EXO Telecomunicaciones website header with navigation links: INICIO, PRODUCTOS - SERVICIOS, and social media icons for Facebook, Twitter, and YouTube. The main heading is "FIBRA ÓPTICA". Below it are three product cards:

- Fibra Prysmian TD 13-408, 200m Span:** Shows a cross-section of a fiber optic cable with a maximum span of 200. Includes a "Bajar PDF" button.
- Fibra Prysmian TD 15-414:** Shows a cross-section of a fiber optic cable with a maximum span of 50. Includes a "Bajar PDF" button.
- Fibra Prysmian TD 13-408, 100m Span:** Shows a cross-section of a fiber optic cable with a maximum span of 100. Includes a "Bajar PDF" button.

*Figura 5.27. Línea de Fibra Óptica de la empresa EXO Telecomunicaciones*

EXO Telecomunicaciones además de la medida del diámetro especifica el vano máximo que soporta cada tirada de fibra óptica. Es decir, la distancia que pueden haber entre un punto de apoyo y otro.

Otras de las ventajas de elegir a este proveedor es el hecho de tener una solución integral de equipos pasivos como ser los divisores ópticos, cajas de acceso (PDO), Patchcord, ODF, etc



The screenshot shows the EXO Telecomunicaciones website header with navigation links: INICIO, PRODUCTOS - SERVICIOS, and social media icons for Facebook, Twitter, and YouTube. The main heading is "COMPLEMENTOS ÓPTICOS". Below it are six product cards:

- FOSC-GPJ-N014:** Shows a fiber optic connector. Includes a "Bajar PDF" button.
- GF-KSW(N)-XX:** Shows a fiber optic patch panel. Includes a "Bajar PDF" button.
- PLC-XX:** Shows a fiber optic patch panel. Includes a "Bajar PDF" button.
- FOSDM-4U-72:** Shows a fiber optic patch panel. Includes a "Bajar PDF" button.
- FODB-1U-24-D:** Shows a fiber optic patch panel. Includes a "Bajar PDF" button.
- SC Patchcord, Pigtail:** Shows a fiber optic patch cord. Includes a "Bajar PDF" button.

*Figura 5.28. Complementos Ópticos Línea EXO Telecomunicaciones*

### 5.2.2.2 Herrajes de Fibra Óptica

Lo último que se determinó para este proyecto son los herrajes, esto es así por el hecho que se debe definir en primera instancia el tipo de fibra óptica que se utilizará, como se vio en el apartado anterior.

Para este apartado se tomó como referencia dos empresas Argentinas que hacen distribución de equipos preformados para instalaciones de fibra óptica, siendo estas:

- Industrias KC
- Preform SRL

Tanto Industrias KC como Preform SRL venden la solución completa en lo que a preformados se refiere. Siendo estos los vistos en la sección 6.1.1.3. Sin embargo, lo que permite para este proyecto, definir qué marca se utilizará es más un aspecto financiero.

Industrias KC, si bien tiene una trayectoria más larga que Preform SRL (Industrias KC, inicio de actividades: 1969; Preform SRL, inicio de actividades: 1993), las soluciones que ofrece, son en base a productos exclusivamente metalizados, siendo herrajes de suspensiones y retenciones metálicos galvanizados, cruces de ganancia galvanizadas, mensulas metálicas, etc. Si bien estos productos proveen un mejor acabado y más tiempo de vida útil. No siempre es necesario el uso de este tipo de materiales.

Preform SRL en cambio posee además de los productos metálicos ofrecidos por Industrias KC, productos dieléctricos, como ser flejes dieléctricos, mensulas dieléctricas, etc.

Con esto no se quiere decir que una marca es mejor que otra, sólo se considera relevante para este proyecto tener una amplia gama de soluciones, con materiales no sólo de un tipo, sino que se pueda tener opciones ante cualquier eventualidad. Como se la instalación de una cámara de seguridad en un poste y que el mismo deba ser totalmente aislado de la conexión a realizarse. Esto no podría hacerse con materiales puramente metálicos, es necesario contar con materiales dieléctricos que permitan esta separación.

Muchos otros factores pueden ser considerados importantes para la implementación de la red. En este apartado, se nombro los más importantes, un ingeniero o project manager debe de tener en cuenta a la hora de planificar las compras de dichos productos.

## **SECCIÓN VI**

# **SELECCIÓN LEGALES Y SEGURIDAD**

## **CAPÍTULO 6: LEGALES Y SEGURIDAD**

### **6.1 Convenios Legales**

Los convenios legales es uno de los temas menos tomados en cuenta cuando se hace una planificación de tendido de fibra óptica en cualquier lugar.

Un despliegue de fibra óptica, no es más que hacer uso del espacio aéreo público de una ciudad, municipio, localidad, provincia, país, etc. Por este motivo, siempre es recomendable tener presente cuáles son los requisitos para poder hacer despliegue de cables aéreos en la zona donde se desea trabajar.

### **6.2 Tendido aéreo**

Cuando tenemos que hacer un trabajo en la vía pública, siempre existe una entidad de gobierno (generalmente municipal) que interviene para el control y regulación de dichos trabajos. En los distintos municipios la entidad de gobierno o municipal que interviene generalmente es Obras Públicas.

Obras públicas exige a las entidades que pretenden realizar un proyecto de tendido en espacio aéreo, sea el que fuere, presentar la siguiente documentación:

- Plano del tendido a realizarse
- Nota de Liquidación de Derechos de Obra
- Contratos intervinientes
- Informe simplificado del proyecto

Una vez Obras Públicas reciben dicha documentación, queda a disposición de la misma requerir más información. A partir de esto, Obras Públicas municipal puede aprobar o no dicho proyecto por cuestiones inherentes al municipio, por falta de documentación o por cuestiones políticas/sociales.

### **6.3 Acuerdos con empresas propietarias de postes**

Una de las cosas que hay que tener presente es que la fibra óptica para redes FTTx se realiza en la mayoría de los casos por tendido aéreo. Hacer un tendido aéreo indefectiblemente implica tener soporte donde agarrar la fibra óptica y por lo tanto, hoy por hoy, dichos soportes van sobre postes ubicados en la vía pública.

Los postes en su mayoría pertenecen a las empresas proveedoras del sistema de Energía Eléctrico. Por lo tanto, una buena opción es hacer acuerdos con estas empresas para poder hacer los despliegues correspondientes.

Generalmente estas empresas permiten este tipo de acuerdos, a cambio de un pago mensual por el uso del poste. Esto justifica el mantenimiento de los mismo. Para qué estos acuerdos pueden instanciarse, se debe cumplir ciertos requisitos:

- Presentar el proyecto que se va a realizar
- Presentar la habilitación municipal con el permiso de uso de espacio aéreo aprobado
- Cláusula de no repetición
- Informe de postes a utilizarse diferenciando postes de baja tensión de los de media tensión.
- Informe de seguridad por parte de la empresa
- Informe de Plan de Tendido en vía pública.

Al igual como ocurre con las municipalidades, queda a disposición de la empresa prestadora de la posteria decidir brindar la prestación de sus postes a la empresa del proyecto, aun si cumple con los requisitos.

Otra buena opción, dependiendo exclusivamente de los objetivos de la empresa y el respaldo económico que posea, es la instalación de postes propios.

### **6.3 Colocación de postes propios**

Una opción que requiere una inversión mucho más alta pero brinda más seguridad frente a aspectos legales a la empresa encargada del proyecto es la colocación de postes propios. Si bien es una opción bastante válida, no sólo dependerá de la situación y proyección financiera de la empresa, sino que también dependerá de los permisos municipales que se otorguen.

Como se comentó anteriormente, todo trabajo que se realice en la vía pública, debe gestionarse por medio de una entidad municipal o gubernamental. Y la colocación de postes no es ajeno a un proceso en vía pública.

Por desgracia, este ítem está mucho más ligado a empresas con una infraestructura capaz de realizar las tareas relacionadas a la ingeniería Civil. Por lo que muchos de los conceptos que solicitan los municipios o gobiernos para poder hacer un despliegue de estas dimensiones son particulares de cada uno y no existe una forma o estándar definido.

No obstante, es un tema a tratar siempre y cuando se vea la posibilidad de poder realizarlo, averiguando todos los requisitos necesarios por parte de los municipios.

## 6.4. Medidas de Seguridad

En este apartado se detallan los materiales a utilizar en el despliegue de Red de Fibra Óptica. Los mismos son adecuados para la utilización en redes aéreas exteriores de Baja Tensión y Media Tensión.

Teniendo en cuenta la distancia entre vanos, carga permanente, sobrecarga, catenaria, etc.; se define la utilización de tres modelos de cable tipo aéreo auto soportado tipo ADSS (All-Dielectric Self-Supporting Aerial Cable) con núcleo relleno con gel. El modelo de 144 (ciento cuarenta y cuatro) fibras soporta una Tensión Máxima permitida MAT de 5800 N, el modelo de 48 (cuarenta y ocho) fibras soporta una Tensión Máxima permitida MAT de 3450 N y el modelo de 24 (veinticuatro) fibras soporta una Tensión Máxima permitida MAT de 2950 N. Todos los modelos cuentan con una cubierta de polietileno de color negro con protección contra intemperie y resistente a la luz solar. El Peso Nominal del cable de 144 (ciento cuarenta y cuatro) fibras es de 260Kg/Km, el Peso Nominal del Cable de 48 (cuarenta y ocho) fibras es de 130Kg/Km y el Peso Nominal del Cable de 24 (veinticuatro) fibras es de 102Kg/Km.

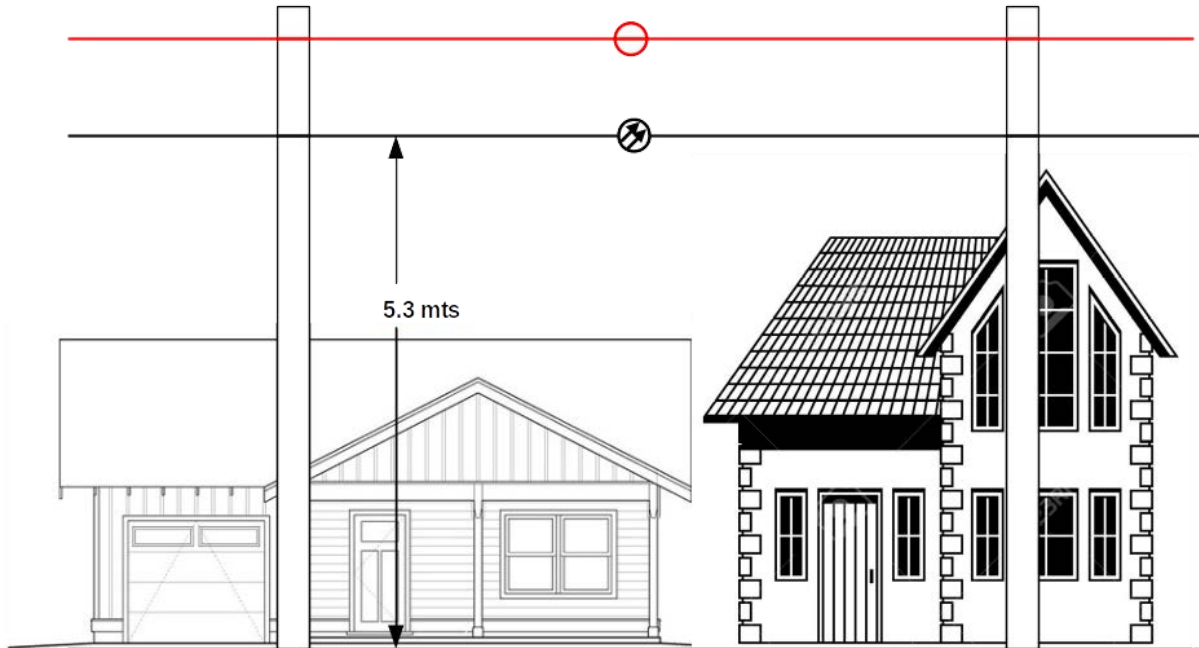
Los cables de fibra óptica dieléctricos se pueden utilizar en instalaciones aéreas, ya que no contienen ningún componente metálico, por tanto tiende a minimizar los relámpagos y evitar el cruce del campo eléctrico desde las líneas de alimentación.

### 6.4.1 Detalle del Tendido

En lo que respecta al tendido del cable, el mismo se realizará siempre respetando lo indicado por la Asociación Electrotécnica Argentina en su recomendación 95201 y todas las ordenanzas locales, provinciales y nacionales.

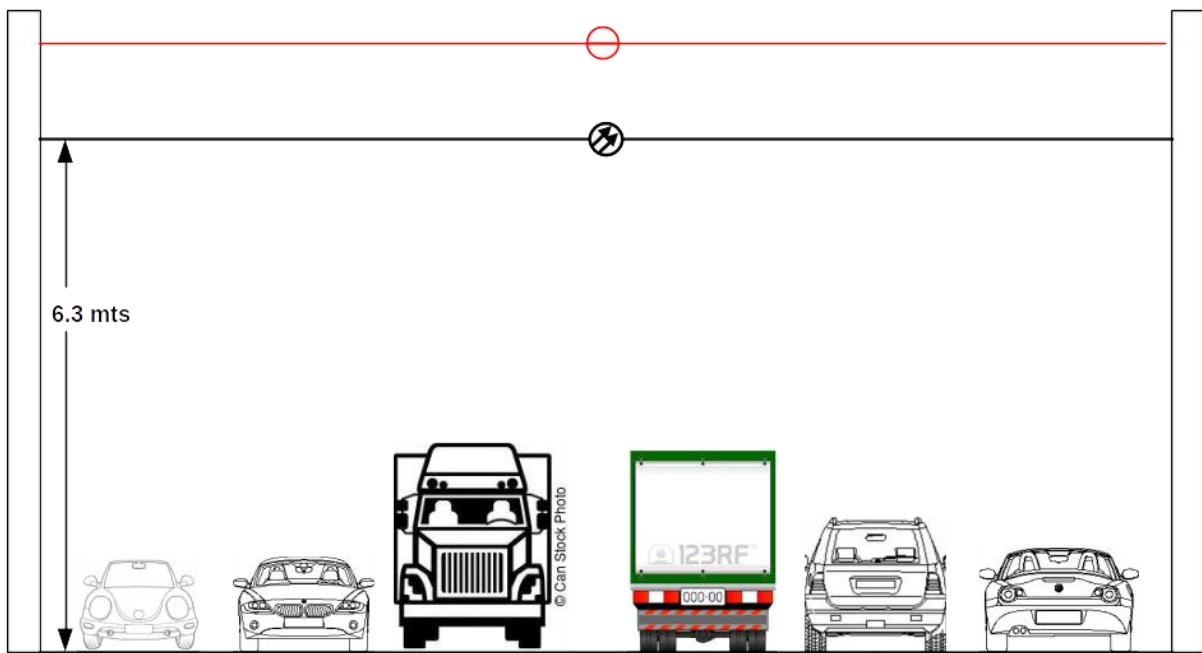
Respetando la AEA 95201, la altura de las líneas aéreas tendidas para telecomunicaciones serán:

- 5.3 mts. sobre terreno libre y calles distritales o comunales.



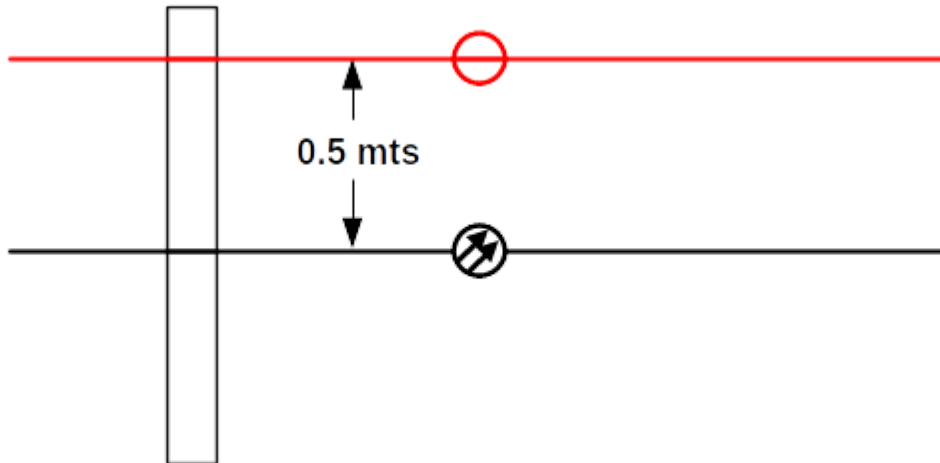
**Figura 6.1.** Tendido de Fibra Óptica en terreno libre y calles distritales o comunales

- 6.3 mts. sobre avenidas y rutas, nacionales y provinciales.



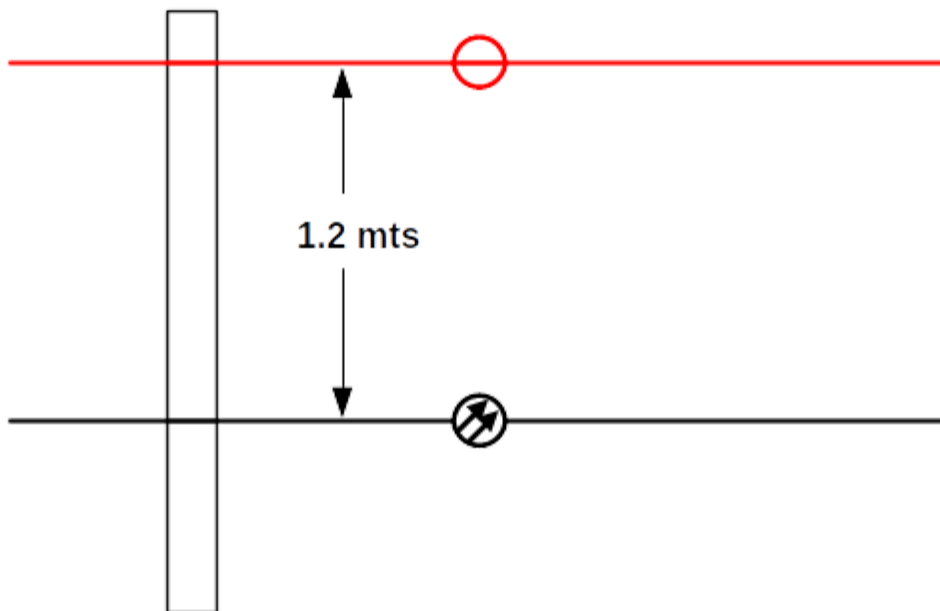
**Figura 6.2.** Tendido de Fibra Óptica sobre avenidas o rutas

El tendido del cable (fibra óptica) quedará instalado por debajo de los cables de baja tensión respetando la AEA 95201, con una distancia de 0.5 mts:



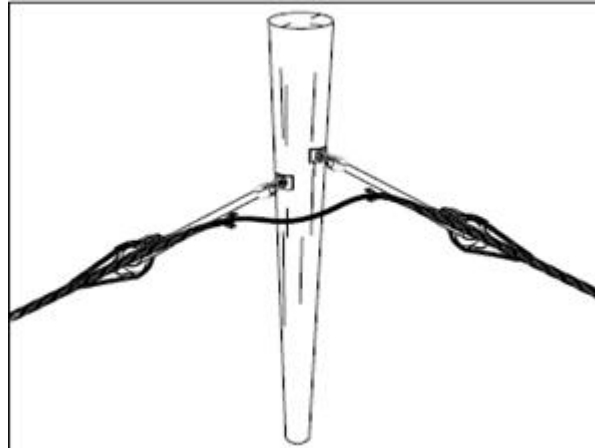
**Figura 6.3.** Separación de la fibra óptica de la Baja Tensión

El tendido del cable (fibra óptica) quedará instalado por debajo de los cables de media tensión respetando la AEA95201, con una distancia de 1.2 mts. desde la línea de tensión eléctrica:



**Figura 6.4.** Separación de la fibra óptica de la Media Tension

Los giros en ochavas se realizarán utilizando doble herraje de retención:



*Figura 6.5. Giro con herraje de Retención*

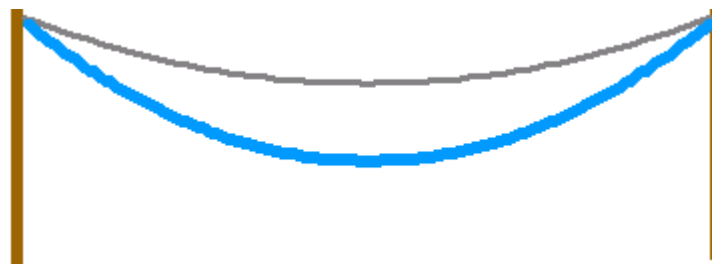
Se utilizarán abrazaderas tipo BAP para la sujeción de los soportes de retención y suspensión del cable. En ningún momento se realizarán perforaciones a los postes o columnas.

El método de tendido enrollado retractable/fijo es el método usual de tendido de cables. El cable se coloca desde el carrete yendo hacia arriba por el alambre, tirado por un bloque que solamente viaja hacia adelante y es mantenido en alto por los soportes de cables. El cable se corta de inmediato y se forman los bucles de expansión, la atadura de cables se realiza después de tender el cable. De esta manera se produce menor invasión e impacto durante la instalación en la vía pública.

Los herrajes definidos para el proyecto que involucra cable de fibra del tipo ADSS se relacionan a continuación:

- Espárragos totalmente roscados y tuercas en anilla.
- Grilletes, distanciadores y ganchos espirales.
- Retenciones preformadas de anclaje y de suspensión.
- Amortiguadores.
- Cruz para Reserva de FO.

Los cables ADSS están diseñados para elongarse bajo cargas de viento o hielo. Esta elongación se controla por medio de la cantidad de hebras de fibra aramida integradas en el cable.



*Figura 6.6. Vano de Fibra Óptica entre postes*

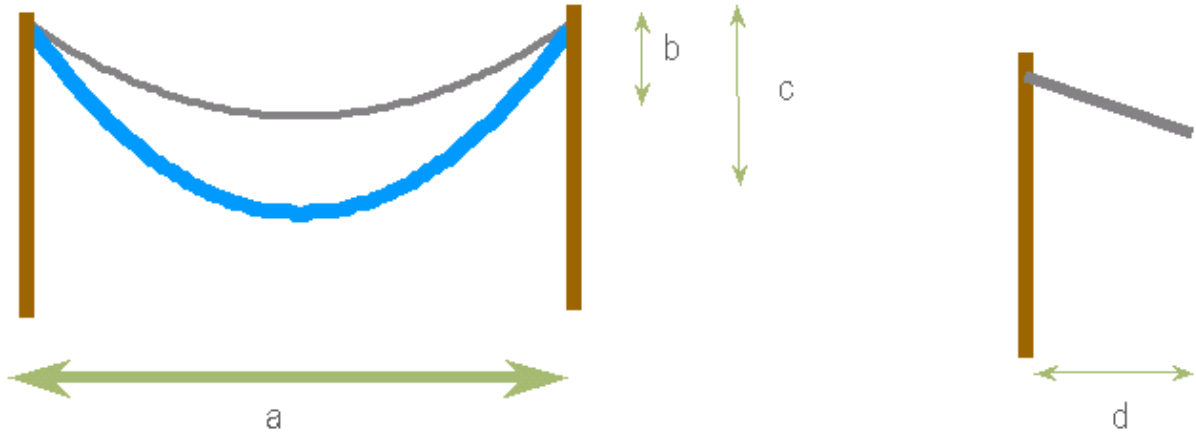
Más Fibra aramida, más Fuerza, menos Catenaria, tensiones más Altas.

a: Longitud Máxima de Vano

b: Catenaria Inicial de Instalación

c: Catenaria bajo condiciones climáticas prevalcientes “Viento”

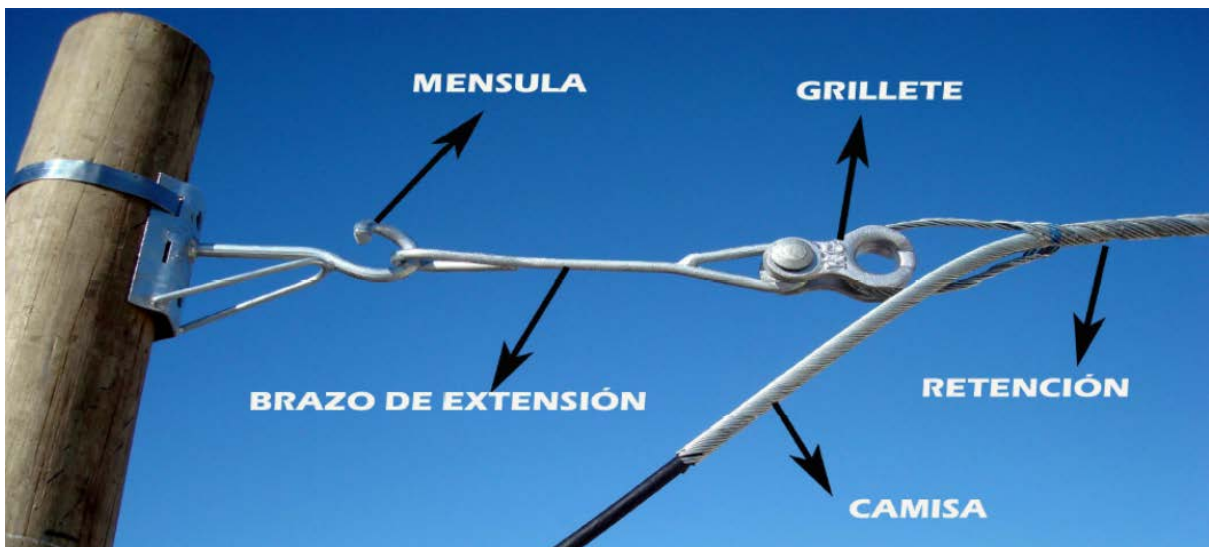
d: Voltaje de Línea del Sistema



**Figura 6.7.** Especificaciones de Fuerzas aplicadas al vano de la fibra óptica

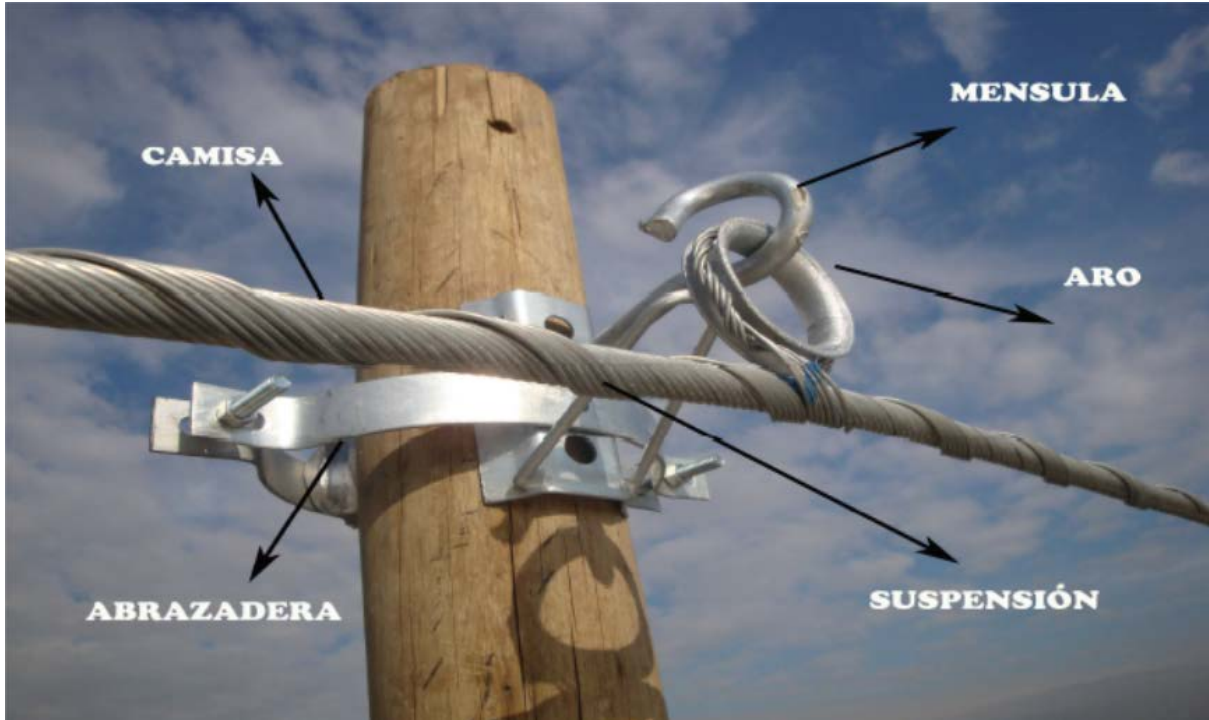
En las siguientes imágenes se visualizan los distintos accesorios colocarse en poste/columnas.

◦ En la siguiente imagen se visualiza el preformado de retención o anclaje.



**Figura 6.8.** Preformado de retención o anclaje

◦ Accesorio de Suspensión



*Figura 6.9. Preformado de suspensión de anclaje*

◦ Cruz para reserva de FO y Caja de empalme.



*Figura 6.10. Cruz o cruceta de ganancia colocada en poste en vía pública*

## 6.4.2 Señalización y segurización en la vía pública

Se ajustarán a las Normas Nacionales vigentes; cumpliendo con los principios básicos, para lo cual se deberá analizar con un criterio lógico el entorno en el cual se realizarán los trabajos y su señalización.

En todos los casos se mantendrá un contacto fluido con las autoridades oficiales ó entes encargados a fin de adecuarse o comunicarles sobre las medidas de prevención y tipo de señalización a efectuar.

Dado que la distancia desde el carrete al poste debe ser aproximadamente 2 veces la altura del poste se utilizarán todos los elementos necesarios para la señalización y segurización del ó los frentes de trabajos que se abrirán. Para esto se contarán con todos los elementos necesarios: vallas, carteles, maderas, cintas de prevención, balizas, etc.

## 6.5 ENACOM

En la actualidad, el Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM) brinda bastante asesoramiento en lo qué respecta a material legal para las empresas y pequeños emprendedores.

Este apartado es importante mencionarlo, ya qué todo despliegue donde intervenga la transmisión de datos, el ENACOM es el encargado de regular, sin discriminar la misma está destinada a Video, Datos o Telefonía.

Muchas entidades, en especial las entidades gubernamentales al solicitar un servicio de telecomunicaciones, dejan expresamente informado qué:

“TODOS LOS EQUIPOS QUÉ SE UTILICEN PARA BRINDAR CONECTIVIDAD ENTRE UN PUNTO Y OTRO, SEA ESTE INALAMBRICO O POR MEDIO CABLEADO, SEA CUAL FUERE EL MISMO, DEBE ESTAR HOMOLOGADO PARA SU FUNCIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA”

Enacom es el organismo encargado de la normalización del equipamiento de comunicaciones de la República Argentina. Esta normalización se realiza mediante el dictado de normas técnicas basadas en:

- Seguridad del usuario
- Uso eficiente del espectro radioeléctrico
- Asegurar la compatibilidad con las redes y sistemas de comunicaciones autorizados.

La certificación de los equipos y el permiso para comercializarlos y/o utilizarlos en el territorio nacional, reconoce tres categorías:

- **Homologación:** se verifica que los equipos cumplan con las normas técnicas correspondientes.
- **Codificación:** similar a la homologación pero para equipos que no poseen normas técnicas específicas.
- **Autorización:** el procedimiento es el mismo que el de los dos anteriores, según corresponda, pero restringiendo el uso a la persona (humana o jurídica) titular del registro.

Los datos correspondientes a los equipos homologados, codificados o autorizados se asientan en el Registro de Materiales.

Por último, pero no menos importante, se debe destacar la importancia del aspecto legal en todo proyecto que se genere. Ya que se puede tener todo el conocimiento científico y técnico para llevar adelante un proyecto, pero si el mismo no se ajusta a los reglamentos y normas del lugar donde se planea ejecutarlo, puede llevar a que el proyecto mismo no se cumpla o sea discontinuado por tiempo indeterminado hasta cumplir con los requisitos necesarios para poder continuarlo.

# CONCLUSIÓN

## CONCLUSIÓN

Para concluir este proyecto, quiero destacar la importancia de tener un plan bien hecho con lo que respecta al tendido de fibra óptica. Es importante tener en cuenta cada detalle, cada aspecto y realizar las mediciones correspondientes para tener un margen de error, lo mínimo posible. Esto posibilita tener más opciones y no generar tanta incertidumbre a la hora de encarar un proyecto.

En el campo de las telecomunicaciones, las redes por fibra óptica, si bien llevan bastante implementando, no están siendo explotadas al 100%. Existe todavía mucho campo de investigación e implementación de las mismas. GPON llegó como una solución sólida, sacando provecho de lo aprendido con las redes de telefonía y luego con las redes HFC (Red Híbrida Fibra Coaxial), permitiendo que los equipos activos sólo se encuentren en los extremos de las mismas y no tener equipos activos en las calles.

En parte, esté al ser un proyecto gubernamental, todos los requisitos deben ser tomados muy en cuenta, en especial la parte jurídica, donde juega mucho a favor o en contra dependiendo si se cumplen con los requerimientos legales para poder llevar adelante una obra de tal envergadura.

Si bien está investigaciones se basa en bastante contenido teórico, todo lo concerniente a la parte práctica se está implementando en una empresa que de a poco va creciendo por la incorporación de estas buenas prácticas especificadas en este proyecto de grado.

Un factor a nombrar, es que las complicaciones siempre existen en los proyectos, y más cuando son proyectos de este tipo, donde se habla no sólo de conectar puntos, sino que estamos hablando de puntos en una área muy grande, donde intervienen otros factores no solamente técnicos, sino también un plan logístico, económico, administrativo, etc, donde deben afinarse lo más posible dichos aspectos para contar con una gestión integral del mismo.

Destacar además que todo trabajo conlleva su tiempo de planificación, ejecución, supervisión y mantenimiento, por lo que si se construyen las bases sólidas para poder evitar tener desfase en cuanto a tiempo, dinero y alcance, todo proyecto puede realizarse sin muchas complicaciones.

Por último pero no menos importante por eso, saber que tener un buen equipo de trabajo es esencial. Saber distribuir las tareas y confiar en el equipo de trabajo que uno tiene le agrega mucho valor al proyecto.

# BIBLIOGRAFÍA

## Libros

**Gigabit-capable Passive Optical Networks, 2012** – D. Hood ISBN: 978-0-470-93687-0

**Next-Generation FTTH Passive Optical Networks, 2008** - Josep Prat – ISBN: 978-1-4020-8470-6

**Estudio y diseño de una Red GPON de última milla, 2018** - Ramiro Cevallos, Richard Montalvo

**Gigabit Passive Optical Network (GPON): An Improved Architecture and Performance Analysis, 2011** - Md. Taslim Arefin, Md. Monjurul Islam - ISBN: 3639378121, 9783639378122

**Fiber to the Home: The New Empowerment, 2005** - Paul E. Green, Jr.

**Internet protocol aspect- Transport Characteristics of MPLS-TP equipment functional blocks.** Recommendation ITU-T G.8121/Y.1381

**Architecture of the Multi-Protocol Label Switching transport profile layer network.** Recommendation ITU-T G.8110.1/y.1370.1

## Documentos oficiales electrónicos consultados por internet

**Recomendación ITU-T G.8121/Y. 1370.1 -**

[https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.8110.1-200611-S!!PDF-S&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.8110.1-200611-S!!PDF-S&type=items)

**Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x -**

<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n4/1390-6542-enfoqueute-7-04-00016.pdf>

**Recomendación ITU-T G.984.1 - SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES Secciones digitales y sistemas digitales de línea – Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales -**

[https://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.984.1-200303-S!!PDF-S&type=items](https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.984.1-200303-S!!PDF-S&type=items)

## Portales Web y Otras referencias de internet

**Elovatec - Industria y Telecomunicaciones** - <http://elova.com.ar>

**Todo Conectores - Venta de equipos de fibra óptica** - <http://www.todoconectores.com.ar>

**Tradeisay TELECOMUNICACIONES - Comercialización en insumos de equipos para empresas de telecomunicaciones** - <https://www.tradeisay.com>

**Conectronica - Distribuidor de Fibra Optica** - <https://www.conectronica.com>

**Ring Rang & Energy, Empresa de Servicios de Telecomunicaciones Panameña** - <http://www.ringringenergy.com>

**Wikipedia - Definición de OLT** - [https://en.wikipedia.org/wiki/Optical\\_line\\_termination](https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_line_termination)

**Flytec - Empresa proveedora de equipos de telecomunicaciones** - [http://www.flytec.com.py/produto/5976/F.%20OLT%20HUAWEI%2006U%20MEDIA%20MA5683T%201G%202\\*GICF%202\\*SCUN%202\\*PRTE](http://www.flytec.com.py/produto/5976/F.%20OLT%20HUAWEI%2006U%20MEDIA%20MA5683T%201G%202*GICF%202*SCUN%202*PRTE)

**Blog Victor Moreno - Gestor en Telecomunicaciones y Seguridad** - <http://vam-comunicaciones-ferroviarias.blogspot.com/2012/11/que-es-un-sfp-optico.html>

**ADSLZONE - Fundamentos del transceptor SFP GPON** - <https://www.adslzone.net/foro/fibra-optica.94/fundamentos-transceptor-sfp-gpon.462184/>

**GES (Global Electric & Solar Power) - Venta de Herrajes para telecomunicaciones** - <https://globalelectricsolar.com.pe/producto/herraje-de-suspension-tipo-colgante/>

**Fibras Ópticas de México - Empresa de soluciones de fibra óptica** - <https://fibrasopticasdemexico.com>

**Wikipedia - Definición de Flejes** - <https://es.wikipedia.org/wiki/Fleje>

**KeyFire - Soluciones de FTTH** - <http://www.keyfibre.com/soluciones-ftth/roseta-optica/>

**FiberHome Group - Empresa de Equipos GPON** - <http://www.fiberhomegroup.com/ru/EnterpriseShow/1302.html>

**GPON Solutions - Blog de Configuración de equipos FTTx -**

<http://gponsolution.com/fiberhome-gpon-olt-an5516-04.html>

**FiberHome Group - Empresa de Equipos GPON -**

<http://www.fiberhome.com/en/operator/product/221.aspx>

**Telecomlead, Online B2B publications -**

<https://www.telecomlead.com/4g-lte/huawei-zte-and-fiberhome-are-in-top3-of-pon-olt-port-shipments-640>

**Optictimes - Empresa de investigación, desarrollo, producción y venta de productos GEAPON -**

<http://www.rzfibra.com/gepon/original-fiberhome-an5516-01-gpon-epon-olt.html>

**FTTHCPE - Empresa dedicada al desarrollo, la producción y las ventas de comunicaciones de fibra óptica e investigación de VoIP Gateway -**

<https://www.ftthcpe.com/gpon-olt/GPON-OLT.html>