



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

## Tecnología GPON: La Evolución Tecnológica de las Redes de Comunicaciones.

Trabajo monográfico  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**INGENIERO EN REDES.**

**PRESENTA**

Jhoan Andrés Vázquez Chim.

Supervisores

**Dr. Homero Toral Cruz**  
**Dr. José Luis Vázquez Ávila**  
**Dr. José Antonio León Borges**

Supervisores suplentes

**Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**  
**M.M. José Raúl García Segura**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2010



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO MONOGRÁFICO TITULADO  
"Tecnología GPON: La Evolución Tecnológica de las Redes de Comunicaciones"

ELABORADO POR  
Jhoan Andrés Vázquez Chim

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO EN REDES

COMITÉ SUPERVISOR

SUPERVISOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Homero Toral Cruz

SUPERVISOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis Vázquez Avila

SUPERVISOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio León Borges

SUPLENTE:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Freddy Ignacio Chan Pic

SUPLENTE:

  
\_\_\_\_\_  
M.M. José Raúl García Segura



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2020

## Dedicatoria.

A mis padres que me han dado la oportunidad de formarme como profesional y que con su esfuerzo pudieron darme todo lo que estuvo a su alcance para lograr mis metas y logros, de igual manera a mi novia Kassandra Guadalupe Mendoza que estuvo apoyándome en los momentos buenos y malos..

## Agradecimientos.

Al Dr. Homero Toral Cruz asesor y amigo, por su tiempo, apoyo y dedicación para la conclusión de este proyecto, a mis profesores, amigos y compañeros de la carrera por hacerme más amena la estancia en la universidad.

A la máxima casa de estudios de Quintana Roo por brindarme la oportunidad de formarme y representar los colores durante mis estudios universitarios.

## Resumen

La siguiente monografía documental se centra en las redes GPON (Gigabyte Passive Optical Network); tecnología moderna, eficaz y con gran potencial, que busca ofrecer múltiples servicios como Internet, voz, datos, TV, etc., a altas velocidades. La estructura de GPON está basada en enlaces de fibra óptica y fue creada con el objetivo de remplazar las conexiones basadas en enlaces de cobre. Esta tecnología es ampliamente utilizada en Norte América, Latinoamérica, Europa, India, Singapur; y se encuentra en constante crecimiento. GPON ofrece mayores funcionalidades de gestión de la calidad de servicio y garantías de evolución a futuro.

El objetivo principal de este trabajo consiste en describir los conceptos fundamentales y la arquitectura de la tecnología GPON y la evolución experimentada en las redes de comunicaciones debido a la implementación de esta tecnología.

El documento está dividido por capítulos de la siguiente manera:

Capítulo 1: Se abordan los conceptos básicos y terminologías que ayudaran a entender el comportamiento la luz en las transmisiones por medio de fibra óptica.

Capítulo 2: Se define la estructura y elementos de la fibra óptica, tipos de fibra, características y aplicaciones.

Capítulo 3: Se estudian las tecnologías de la fibra óptica.

Capítulo 4: Se describe la tecnología GPON.

Capítulo 5: Se presenta una discusión referente a la evolución de las redes de comunicaciones debido a la implementación de la tecnología GPON.

Capítulo 6: Se presentan las conclusiones del trabajo.

# Contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
Contenido.....	6
Tabla de Figuras.....	8
Introducción.....	9
Antecedentes.....	10
Glosario de términos y abreviaturas.....	13
<b>1. Fundamentos de Fibra Óptica.....</b>	<b>14</b>
1.1 Conceptos de luz.....	14
1.2 Onda de luz.....	14
1.3 Frecuencia.....	15
1.4 Longitud de onda.....	15
1.5 Fenómenos ópticos.....	16
1.5.1 Reflexión.....	17
1.5.2 Reflexión interna total.....	17
1.5.3 Refracción.....	17
1.6 Índice de refracción.....	18
<b>2. La Fibra Óptica.....</b>	<b>20</b>
2.1 ¿Qué es la fibra óptica?.....	20
2.2 Tipos de fibras.....	22
2.2.1 Fibra Monomodo.....	22
2.2.2 Fibra Multimodo.....	23
2.2.3 Fibra de índice escalonado.....	23
2.2.4 Fibra de índice gradual.....	24
2.3 Atenuación de la fibra Óptica ( $\alpha$ ).....	25
2.4 Ancho de banda de la fibra óptica.....	25
2.5 Principales beneficios de la fibra óptica.....	25
<b>3. Tecnologías de Fibra Óptica.....</b>	<b>26</b>
3.1 Clasificación de la fibra.....	26
3.1.1 Red de fibra óptica hasta el hogar (FTTH).....	28

3.2 Red ópticas pasivas (PON).....	28
3.3 Topologías PON.....	29
3.3.1 Punto a punto (P2P).....	29
3.3.2 Punto a multi-punto pasivo (P2MP).....	29
3.4 Técnicas de multiplexación.....	30
3.4.1 Multiplexación en el Dominio del Tiempo (TDM).....	30
3.4.2 Multiplexación por división de longitud (WDM).....	31
3.4.3 Multiplexación por división de longitud de onda densa DWDM.....	32
3.5 Clasificación de redes PON.....	32
3.5.1 APON (ATM-PON).....	32
3.5.2 Banda ancha PON (BPON).....	33
3.5.3 Ethernet PON (EPON).....	33
3.6.- ¿Qué es la red GPON?.....	33
<b>4. Tecnología GPON.....</b>	<b>35</b>
4.1 GPON.....	35
4.2 Norma ITU-T G.984.x.....	35
4.3 Arquitectura de FTTH - GPON.....	36
4.4 Funcionamiento de GPON.....	37
4.5 Datos en descarga (Downstream).....	38
4.6 Datos de carga (Upstream).....	39
4.7 Características y ventajas.....	40
4.8 Seguridad.....	41
4.9 Estándar de cifrado avanzado (AES).....	42
4.10 ¿Por qué GPON?.....	43
4.10.1 Desventajas.....	43
<b>5. Evolución de las Comunicaciones con la Aparición de GPON.....</b>	<b>45</b>
Actualización de GPON.....	49
XG-PON1.....	49
NG-PON2.....	49
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>51</b>
Bibliografía.....	55

## Tabla de Figuras

Figura 1 Frecuencia .....	15
Figura 2 Longitud de onda.....	16
Figura 3 Reflexión de la luz.....	17
Figura 4 Refracción de la luz.....	18
Figura 5 Estructura de la fibra óptica .....	21
Figura 6 Trayectoria de un rayo luminoso en la fibra Óptica.....	22
Figura 7 Fibra Monomodo.....	23
Figura 8 Fibra de índice gradual .....	24
Figura 9 Distribución de la fibra .....	27
Figura 10 Estructura Básica Red Pon.....	28
Figura 11.-Topología Punto a Punto (P2P) .....	29
Figura 12.- Topología Pon-Punto a Multipunto (P2MP).....	30
Figura 13 TDM datos de carga y descarga. ....	31
Figura 14 Multiplexación por división de longitud.....	32
Figura 15 Red GPON .....	36
Figura 16 GPON .....	38
Figura 17 Tráfico de descarga .....	39
Figura 18. Tráfico de carga .....	40
Figura 19. Seguridad GPON.....	42

## Introducción

En los últimos años, la tecnología de las redes de comunicaciones ha experimentado cambios significativos y un rápido crecimiento. Debido al crecimiento gradual de usuarios de la red celular móvil y el uso de servicios de transmisión de video en línea como Netflix, videoconferencia, televisión de alta definición en línea (HDTV), videojuegos y tendencias de computación en la nube, los requerimientos de ancho de banda han aumentado continuamente. De acuerdo con las últimas estadísticas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), el uso de la banda ancha fija aumentó en un 13,1%, las suscripciones a servicios móviles en un 52,2% y el número de personas que acceden a Internet incremento en un 46%. Un informe de la ITU-T afirma que el 53,6% de las personas en todo el mundo acceden a Internet desde sus hogares y esta tasa aumenta al 84,4% en los países desarrollados. Debido a un uso tan extenso de Internet, la demanda de servicios de banda ancha de alta velocidad ha aumentado drásticamente. El incremento constante del tráfico de red y el surgimiento de nuevas aplicaciones provocan retardos entre los usuarios finales y la oficina central, lo cual se ve reflejado en un bajo nivel de calidad de servicio. La red óptica pasiva (PON), que se utilizaba anteriormente, tenía este problema, por lo que hoy en día se utiliza de forma eficaz fibra hasta el hogar (FTTH) o fibra hasta las instalaciones (FTTP).

Por otro lado, la tecnología de red óptica pasiva (PON) se ha mejorado drásticamente en los últimos años. A pesar de utilizar la tecnología óptica, la utilización de todo el ancho de banda es una tarea muy desafiante. Una de las principales categorías de PON es la red óptica pasiva gigabit (GPON); la cual, es una tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto. Esta red utiliza el algoritmo de asignación dinámica de ancho de banda (DBA) para lograr el uso máximo del ancho de banda, que se proporciona en la red de forma dinámica según la necesidad de los clientes con el apoyo del acuerdo de nivel de servicio (SLA).

La tecnología GPON fue aprobada en el 2003 y 2004 por la ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5. Cabe destacar que GPON se utiliza para el acceso a Internet, servicios de voz, datos, videovigilancia, TV digital, video bajo demanda, juegos en línea, telefonía IP, videoconferencias, entre otros servicios. (ITU-T I. T., 2008) (ITU-T, 2007)

La conexión GPON se lleva a cabo mediante un dispositivo que se encuentra en la central de la operadora llamado OLT (Optical Line Terminal), el dispositivo que se coloca en la casa del usuario ONT (Optical Node Terminal) u ONU (Optical Network Unit) y divisores ópticos que se encarga de distribuir la información. (Villareal, 2007) (Rojas, 2010)

La implementación de la tecnología GPON ha logrado una rápida evolución en los servicios de comunicaciones y permitido a los proveedores maximizar el rendimiento de la red, atraer nuevos clientes, ofreciendo más servicios y de mejor calidad.

## Antecedentes

La comunicación entre los seres vivos es sumamente necesaria e importante, para transmitir, intercambiar o compartir información. Actualmente las comunicaciones lo conforman todos los sistemas, equipos y métodos que facilitan la transmisión de información, por lo general medios y dispositivos electrónicos. La idea de transmitir información por medio de luz es muy antigua, pero con el paso del tiempo esa idea ha ido cambiando.

En los últimos años los sistemas de comunicaciones han ido mejorando. La fibra óptica surgió como medio para transmitir información a través de luz, gracias al surgimiento de nuevas tecnologías y la necesidad de tener que transmitir grandes cantidades de datos a mayores velocidades. Desde que surgió la fibra óptica tuvo gran auge debido a su gran capacidad de ancho de banda, inmunidad a la interferencia inductiva o eléctrica entre otras ventajas.

Las características de los elementos que forman el sistema de fibras ópticas no solamente han alcanzado valores óptimos de rendimiento propuestos por laboratorios de investigación, sino que son capaces de satisfacer exigentes requisitos físicos y de confiabilidad para aplicaciones que soporten el crecimiento de las telecomunicaciones.

*“Las fibras ópticas han demostrado ser uno de los medios de transmisión más eficientes en los sistemas de comunicaciones”.* (Villareal, 2007)

Existen varias tecnologías que ayudaron a la evolución de las comunicaciones a través de fibra óptica a continuación se darán a conocer las más importantes.

En 1998, APON (ATM-PON) fue la primera especificación concebida por el FSAN (Full Service Access Network). APON tuvo un notable éxito en cuanto a despliegue comercial, pero carecía de la capacidad para ofrecer vídeo.

Para el año 2001, el FSAN presenta BPON (Broadband PON), una tecnología que se basa en ATM, pero introduce una longitud de onda adicional para transportar video RF.

*“En el año 2004 un grupo EFM (Ethernet Firt Mile) del IEE definen EPON como una técnica de PON de nueva generación que influenciada por la tecnología Gigabit Ethernet permitía anchos de banda a precios más competitivos, aunque EPON carecía de muchas funcionalidades para el transporte de otros servicios con calidad estaba siendo un éxito en varios países.”* (Tejedor, 2008)

Años más tarde aparece GPON (Gigabit Passive Optical Network) por parte de la ITU-T. El estándar incluye varias velocidades de línea hasta 2,488 Gbps, simétrica y asimétrica, el ancho de banda de GPON es mucho mayor con el de EPON además de que es capaz de soportar eficientemente otros servicios.



## Glosario de términos y abreviaturas.

AES: Advanced Encryption Standard  
AM: Amplitude modulation  
APON: ATM-Passive Optical Network.  
ATM: Asynchronous Transfer Mode.  
BPON: Broadband Passive Optical Network  
EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier  
EFM : Ethernet First Mile  
EPON: Ethernet Passive Optical Network  
FM: Frequency modulation  
FTTB: Fiber To The Building  
FTTH: Fiber To The Home  
GPON: Gigabit Passive Optical Network  
HFC: : Hybrid Fibre Coaxial  
IEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers  
ISP: Internet Service Provider  
ITU-T: International Telecommunication Union  
LED: Light-Emitting Diode  
ODN: Optical Division Network  
OLT: Optical Line Termination  
ONT: Optical Network Termination  
PON : Passive Optical Network  
TDM: Time Division Multiplexing  
WDM: Wavelength Division Multiplexing

# Capítulo 1

## 1. Fundamentos de Fibra Óptica.

---

En este capítulo conoceremos fundamentos básicos para comprender el comportamiento de la luz y sus aplicaciones en las transmisiones por fibra óptica.

---

### 1.1 Conceptos de luz.

La luz es energía radiante que corresponde a oscilaciones extremadamente rápidas de un campo electromagnético, en un rango determinado de frecuencias que pueden ser detectados por el ojo humano. Existen otros tipos de radiaciones electromagnéticas que no pueden ser percibidas por el ojo humano como la radiación ultravioleta y los rayos X. La luz visible está compuesta por fotones que son los responsables de las propiedades físicas de la luz.

### 1.2 Onda de luz.

La onda luminosa más sencilla es una onda senoidal, es llamada así porque una gráfica de la intensidad del campo eléctrico o magnético trazada en cualquier momento a lo largo de la dirección de propagación sería la gráfica de una función seno, con sus características de frecuencia, longitud de onda y fase.

### 1.3 Frecuencia.

Se le conoce como frecuencia ( $f$ ) al número de oscilaciones o vibraciones por segundo en un punto de la onda luminosa y se mide en ciclos / segundo o en Hertz ( $Hz$ ).

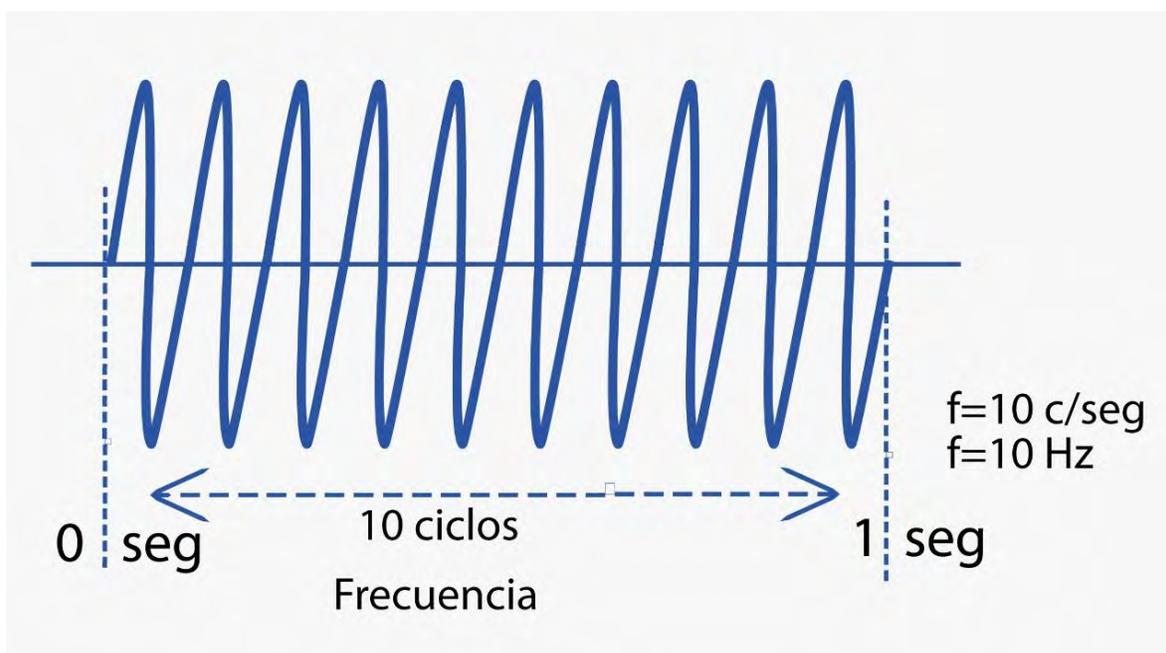


Figura 1 Frecuencia

Existen diferentes frecuencias de señales, como la voz que van de 300 Hz hasta 3400 Hz, las señales de radio en Amplitud Modulada (AM) que tienen frecuencias en KHz y la Frecuencia Modulada (FM) en MHz, otros ejemplos de señales lo podemos ver en la televisión o la telefonía inalámbrica por decir algunas. (Sandoval, 2003, pág. 3)

### 1.4 Longitud de onda.

La luz, como el sonido, se compone de ondas vibrantes. La luz puede tener diferentes longitudes de onda, y las percibimos como diferentes colores en el espectro visible. Estas longitudes de onda se pueden expresar en nanómetros ( $nm$ ), una milmillonésima parte de un metro. Nuestros ojos ven longitudes de onda entre 420-440 nm como tonos de azul. Longitudes de onda más largas, de 650 a 700 nm, las vemos como rojo. (COMMSCOPE, 2018)

La longitud de onda es la distancia a lo largo de la dirección de una propagación entre dos puntos con la misma fase, otra forma de asimilarlo es a la distancia que existe entre dos crestas como se puede observar en la Figura 2.

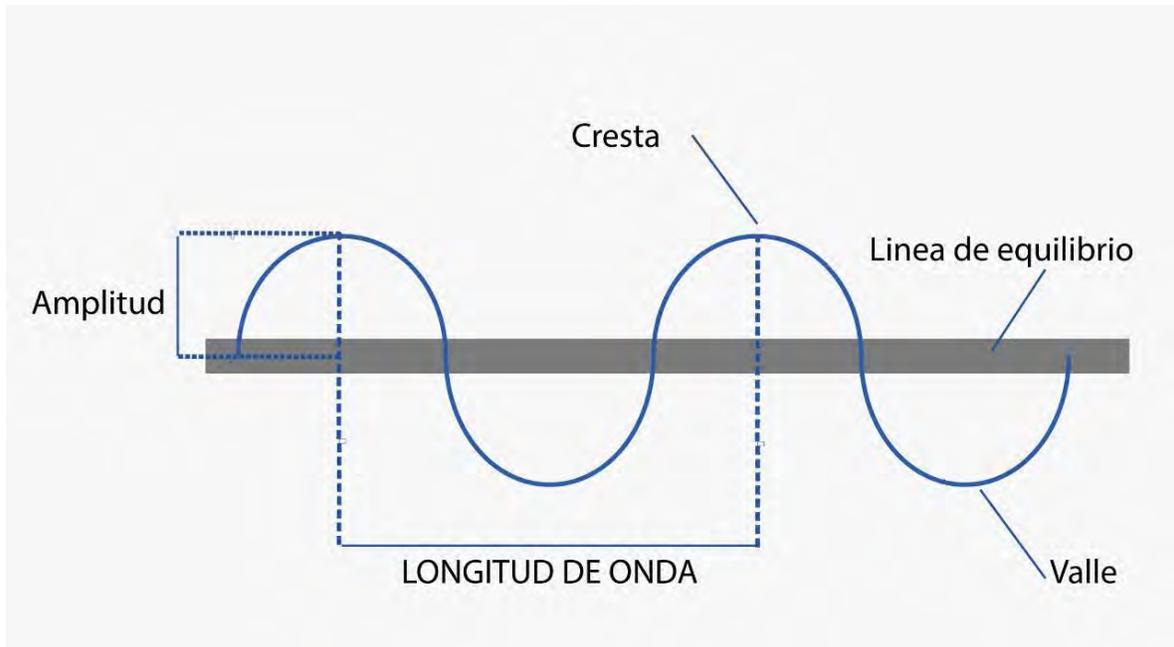


Figura 2 Longitud de onda

Si estiramos un ciclo de la señal senoidal y medimos su longitud, el valor que obtenemos es la longitud de onda y la representamos con la letra griega lambda ( $\lambda$ ) y su unidad es el metro ( $m$ ). En el espectro visible, las diferencias en longitud de onda se manifiestan como diferencias de color.

### 1.5 Fenómenos ópticos.

Los fenómenos de la luz son alteraciones, variaciones y efectos visuales que experimenta al ser sometida a determinadas propiedades físicas.

Algunas de estas alteraciones se manifiestan en la propagación de la luz y están presentes en las transmisiones por medio de fibra óptica, a continuación estudiaremos cada uno de estos fenómenos.

### 1.5.1 Reflexión.

La luz tiene la capacidad de revotar, es decir cambiar su trayectoria, un ejemplo claro es el espejo, la luz se reflejará en el mismo ángulo idéntico al que traía, pero en dirección contraria.

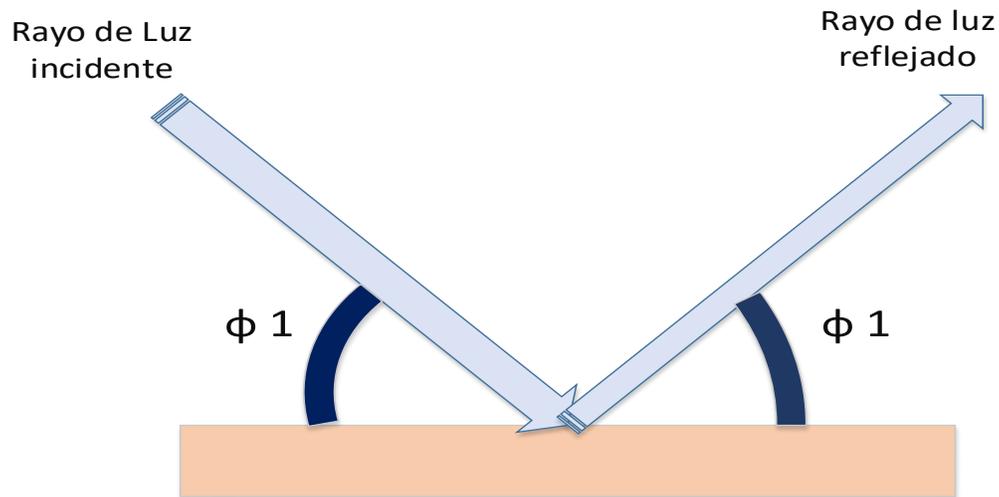


Figura 3 Reflexión de la luz

### 1.5.2 Reflexión interna total.

Es el fenómeno que se produce cuando un rayo de luz atraviesa un medio de índice de refracción  $n_2$  menor que el índice de refracción  $n_1$  en el que se encuentra, se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose completamente. En la fibra óptica se produce una reflexión interna total que preserva la energía transportada por la fibra.

### 1.5.3 Refracción.

Es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con diferente índice refractivo. Un ejemplo claro lo podemos observar

cuando introducimos un lápiz en un vaso con agua y podemos observar como que el lápiz este quebrado dentro del agua.

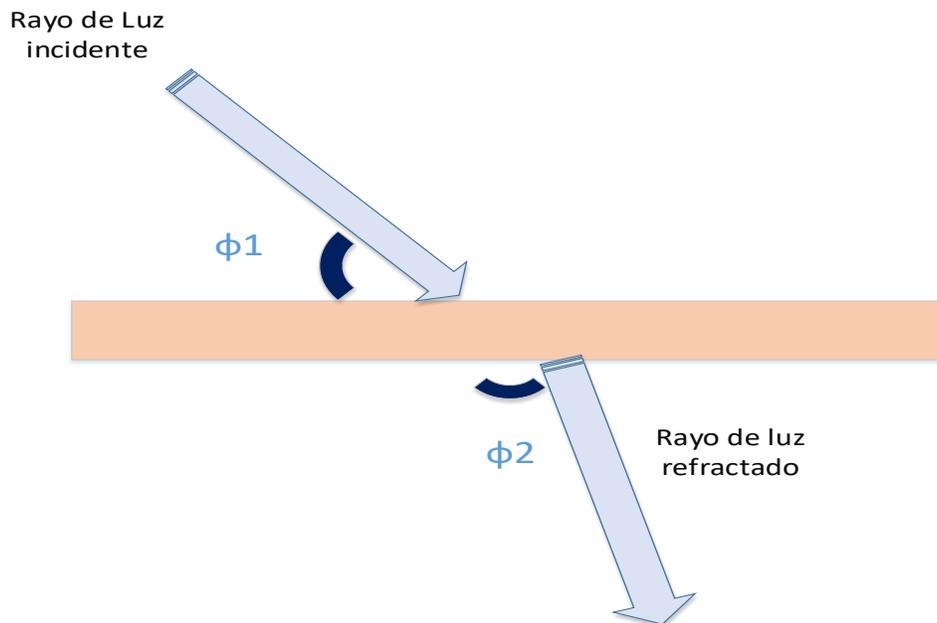


Figura 4 Refracción de la luz

## 1.6 Índice de refracción.

Es la relación o cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en un medio. Este número es una medida característica de cada medio y representa el número de veces que es mayor la velocidad de la luz en el vacío que en ese medio y se representa con la letra  $n$ .

Se expresa de la siguiente manera:

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde

$c$  = velocidad de la luz en el vacío.

$v$  = velocidad

$n$  = índice de refracción del medio.

Las fibras ópticas utilizadas en las comunicaciones están constituidas por dos vidrios de diferente índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento del núcleo.

# Capítulo 2

## 2. La Fibra Óptica

---

Conoceremos que es la fibra óptica, caracterización y los tipos de fibras que existen.

---

### 2.1 ¿Qué es la fibra óptica?

Es un filamento flexible hecho de vidrio o de plástico, sirve como un medio para la transmisión de luz y frecuencias infrarrojas generadas por un láser o led, en los sistemas de comunicaciones es utilizada para transportar información que permite un ancho de banda mayor en comparación con los cables de cobre.

*“Las fibras ópticas son filamentos generalmente en forma cilíndrica, que consiste en un núcleo de vidrio y un revestimiento de vidrio o plástico”.* (Villareal, 2007)

La fibra óptica está conformada por tres capas que difieren en propiedades (ver Figura 5), a continuación, se describe cada una de ellas.

Una fibra óptica contiene un *núcleo* (core) de vidrio a través del cual viaja la luz. Alrededor de este núcleo hay otra capa de vidrio llamada *revestimiento* (cladding), que asegura que la luz no escape del núcleo. Una técnica óptica conocida como reflexión interna total mantiene la luz dentro del núcleo. Un *recubrimiento* (coating) de polímero protector, protege el vidrio del revestimiento de la humedad, la suciedad y el daño. El diámetro total de una fibra óptica es de 250  $\mu\text{m}$  o 1/4 de milímetro. (COMMSCOPE, 2018) (BONILLA, 2009) (MINGUEZ, 2012)

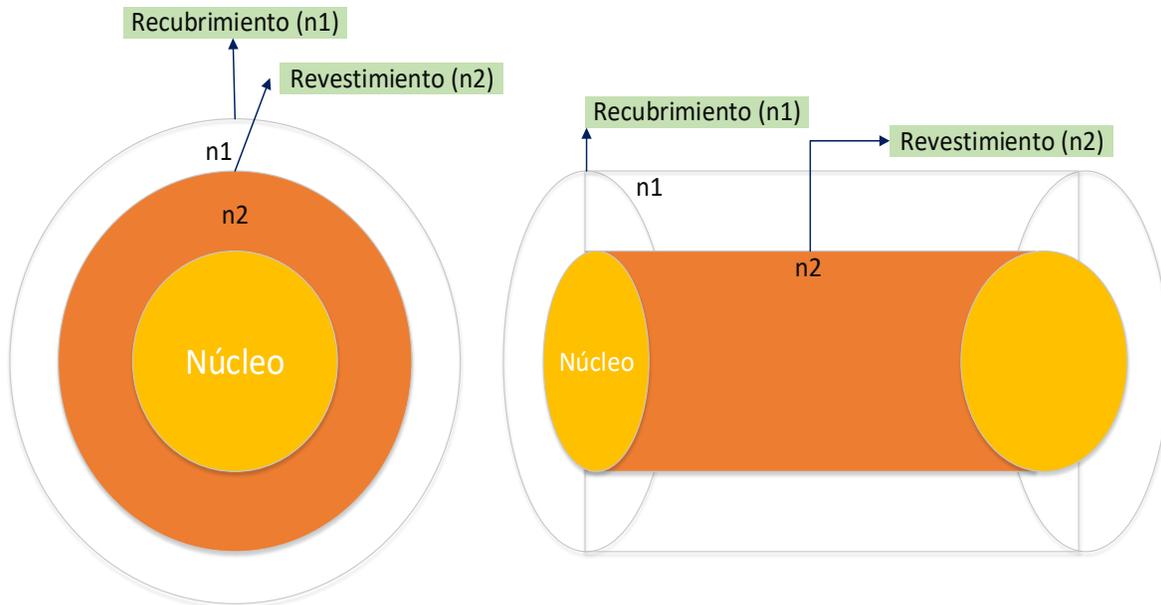


Figura 5 Estructura de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de **refracción** del núcleo ( $n_1$ ) es mayor que el del revestimiento ( $n_2$ ), razón por la cual, y debido a la diferencia de índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y se propaga a través del núcleo. Esto produce un efecto denominado **reflexión total de la fibra** que definimos en el capítulo 1 pág. 16.

*“La luz se puede conducir a través de un cilindro dieléctrico transparente, usando el fenómeno de reflexión total interna y con base en múltiples reflexiones, aunque las aplicaciones de las fibras ópticas son relativamente modernas, el principio bajo el cual funcionan fue descubierto por Daniel Colladon y Jackes Babinet en París alrededor de 1840. El número de aplicaciones prácticas crece día con día.” [3] (Malacara, 2015).*

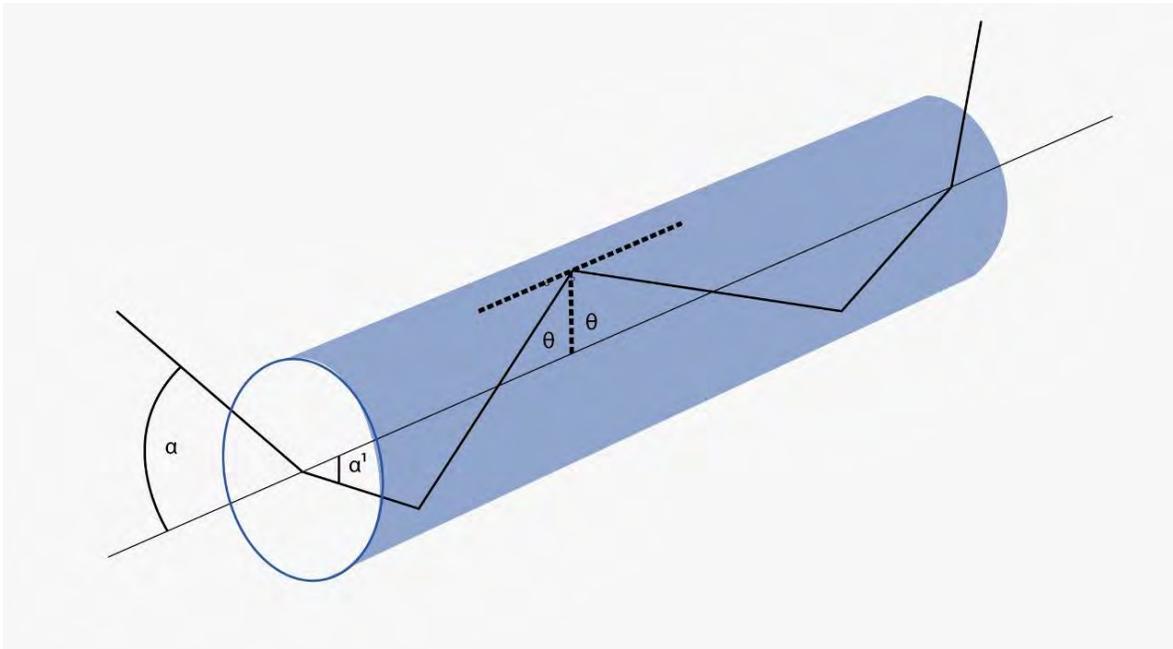


Figura 6 Trayectoria de un rayo luminoso en la fibra Óptica.

## 2.2 Tipos de fibras

Existen dos tipos de fibra óptica Monomodo y Multimodo las cuales dependen del modo en que se propaguen, “un 'modo' es la ruta que sigue un rayo de luz a medida que viaja a lo largo de una fibra óptica. La fibra Multimodo permite que la luz viaje a lo largo de muchas rutas diferentes a lo largo del núcleo de la fibra. La fibra monomodo, es utilizada en todas las líneas de larga distancia y las implementaciones FTTH actuales, solo tiene un modo” (COMMSCOPE, 2018),

### 2.2.1 Fibra Monomodo

Como explicamos anteriormente este tipo de fibra tiene un modo de propagación que permite que la luz viaje directamente a lo largo del núcleo sin reflexión, tiene un diámetro de aproximadamente 8 a 10 micras ( $\mu m$ ), está diseñada para usarse en rayos infrarrojos, permite enviar información a largas distancias (superiores a 10 km) y a buena tasa de transferencia.

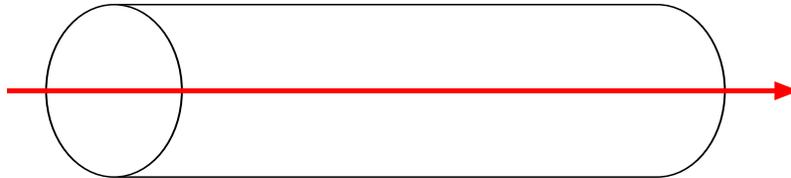
La fibra monomodo tiene un núcleo pequeño lo cual prácticamente eliminan cualquier distorsión que podría resultar de los pulsos de luz superpuestos,

proporcionando una menor atenuación de señal y velocidades de transmisión más altas que cualquier tipo de cable de fibra.

Desventajas: difícil de manipular y conectar, es más cara.

En la Figura 7 se puede observar la propagación de la luz de la fibra monomodo.

### Fibra Monomodo

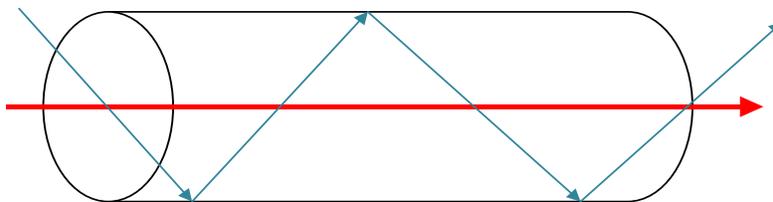


*Figura 7 Fibra Monomodo*

### 2.2.2 Fibra Multimodo

Pueden ser fibras de índice escalonado y fibras de índice gradual. Generalmente tienen diámetros desde 50 micras hasta algunos centenares de micras (una fracción de milímetro), estas fibras se fabrican algunas veces de plástico, aunque el vidrio es más transparente y por tanto es mejor material. Permite que los haces de luz se propaguen en múltiples modos de luz, lo cual incrementa el margen de error y la hace no muy recomendable para conexiones de larga distancia, pero son las preferidas para comunicaciones en pequeñas distancias de hasta 10 Km.

### Fibra Multimodo



### 2.2.3 Fibra de índice escalonado

Fueron las primeras en diseñarse, tienen características ópticas diferentes en virtud de que el núcleo está hecho de un material y el revestimiento de otro tipo de

material, lo cual hace que tengan una mayor atenuación, por lo cual la transmisión es más lenta.

#### 2.2.4 Fibra de índice gradual

Este tipo de fibra tiene una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, como se puede ver en la Figura 8. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

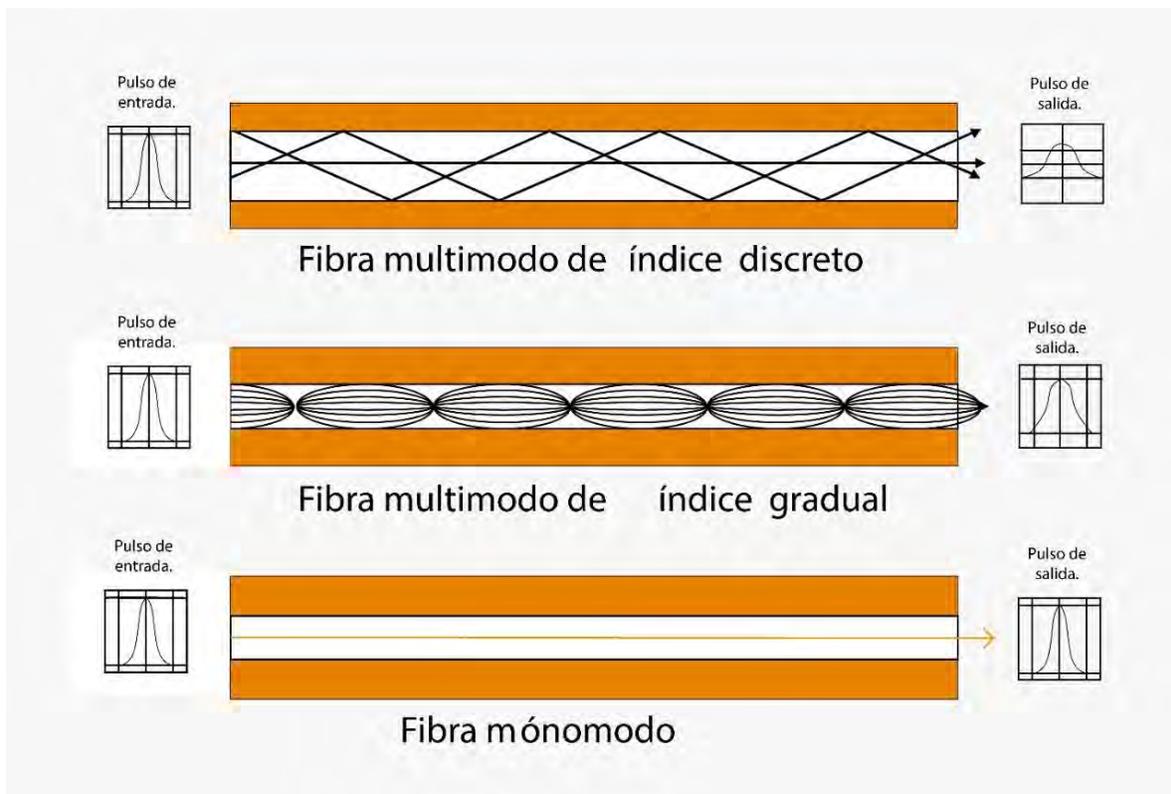


Figura 8 Fibra de índice gradual

## 2.3 Atenuación de la fibra Óptica ( $\alpha$ )

La atenuación se manifiesta con la pérdida o disminución de potencia de la señal óptica conforme aumenta la distancia. Los factores que intervienen en estas pérdidas son la longitud de onda de la luz y el material en el que se propaga. (Rojas, 2010)

La unidad de medida en la que se expresa la atenuación son dB/Km, este valor significa pérdida de luz en un Km y se define como la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada de la fibra. En consecuencia, al disminuir la potencia se reduce el ancho de banda, la velocidad, la eficiencia y la capacidad total del sistema en las transmisiones por la fibra.

## 2.4 Ancho de banda de la fibra óptica

*“Es la velocidad o número de bits que se pueden transmitir en una red por unidad de tiempo”.* (Islas, 2006)

A medida que aumenta la disponibilidad en ancho de banda y avanza la tecnología, el tráfico de Internet global se ha duplicado cada dos años, y crecerá aún más rápido debido al incremento en la aceptación de la informática móvil y los teléfonos inteligentes. El video requiere un gran ancho de banda y la confiabilidad de la red para presentar un flujo continuo de imágenes, especialmente debido a que cada vez más personas visualizan cosas diferentes al mismo tiempo en una misma red.

## 2.5 Principales beneficios de la fibra óptica.

- Gran ancho de banda: transporta grandes volúmenes de datos.
- Baja latencia: demoras imperceptibles en el transporte de datos.
- Atenuación mínima.
- Pequeña y liviana - fácil de transportar e instalar.
- Inmune a la interferencia electromagnética.

# Capítulo 3

## 3. Tecnologías de Fibra Óptica

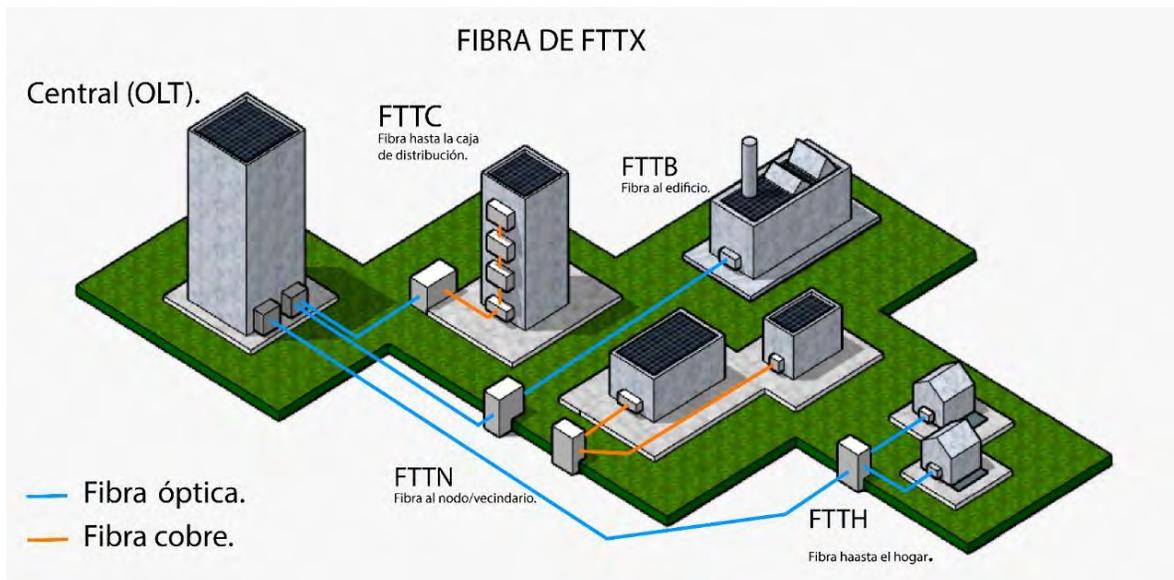
---

Aprenderemos a identificar las diferentes configuraciones y tecnologías por medio de la fibra óptica.

---

### 3.1 Clasificación de la fibra

La fibra óptica está clasificada dependiendo los destinos o usuarios finales (clientes) al que se le brindará el servicio, la tecnología FTTx es el término para designar cualquier acceso de banda ancha sobre fibra óptica, esto quiere decir que se utiliza para generalizar las distintas configuraciones que existen, para diferenciar cada configuración se identifica por la última letra que denota los destinos de la fibra por ejemplo: (FTTN) significa fibra al nodo, (FTTB) fibra al edificio o (FTTH) fibra hasta el hogar.



*Figura 9 Distribución de la fibra*

Fibra hasta el nodo (FTTN): la fibra llega hasta un nodo y de ahí enlaza con la casa con otro tipo de cable como cobre o coaxial (HFC).

Fibra al edificio (FTTB): Este despliegue de fibra llega al edificio y se distribuye a través de cobre o cable de red hasta llegar a casa.

Fibra al gabinete o caja de distribución (FTTC): la fibra llega más cerca del edificio, a un máximo de 300 metros.

Fibra a la antena (FTTA): Este despliegue lleva la fibra hasta las antenas de telefonía para darnos alta velocidad.

Fibra hasta el hogar (FTTH): Este despliegue de fibra permite que la fibra llegue hasta el hogar en el cual se conecta mediante el módem.

Los diferentes despliegues de fibra tienen diferentes objetivos al final de cuenta la mejor configuración va de acuerdo con nuestras necesidades, en este documento nos basaremos en FTTH la cual explicaremos más detalladamente a continuación.

### 3.1.1 Red de fibra óptica hasta el hogar (FTTH).

Es una solución para proporcionar banda ancha con el propósito de soportar servicios como juegos en línea, televisión de alta definición, video bajo demanda, streaming, VoIP, entre otros servicios. La red de acceso FTTH está basada en la red óptica pasiva (PON) la cual es una arquitectura punto a multipunto, y utiliza divisores ópticos no activos para permitir que una única fibra óptica sirva a múltiples puntos finales (clientes).

### 3.2 Red ópticas pasivas (PON)

Una red PON es un sistema de comunicaciones por fibra óptica en el que se establece una comunicación punto-multipunto entre un router central OLT (optical line Terminal) y los equipos en campo ONT (optical Network Terminal).

La característica principal es que no tienen componentes que suministren energía eléctrica entre el punto de distribución y el punto final. Estas redes dividen la señal de los distintos usuarios a través de divisores ópticos pasivos.

En la Figura 10 se muestra la estructura básica de una red PON.

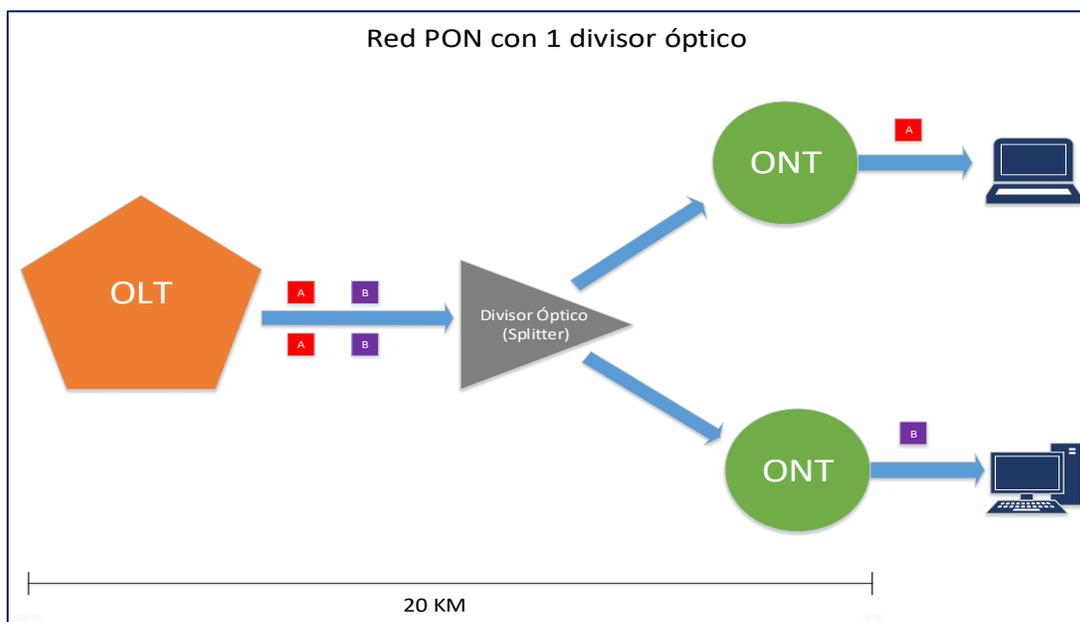
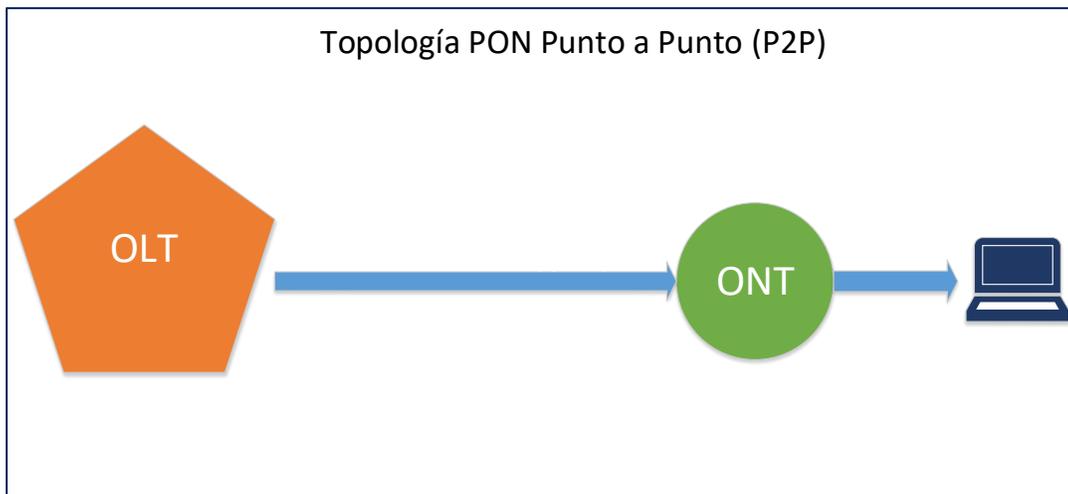


Figura 10 Estructura Básica Red Pon

### 3.3 Topologías PON

#### 3.3.1 Punto a punto (P2P)

Esta topología ofrece un mayor ancho de banda en vista de que cada usuario dispone de una fibra que lo conecta con la central. Esta topología es adecuada para empresas de mediano y gran tamaño, sin embargo, es de tomar en cuenta que como son enlaces dedicados implica un costo elevado en su implementación.



*Figura 11.-Topología Punto a Punto (P2P)*

#### 3.3.2 Punto a multi-punto pasivo (P2MP)

En esta topología la fibra óptica sale de las centrales y dan servicio a múltiples usuarios a través de un divisor óptico. Son perfectas para dar servicio a hogares o pequeñas empresas que requieren un ancho de banda moderado.

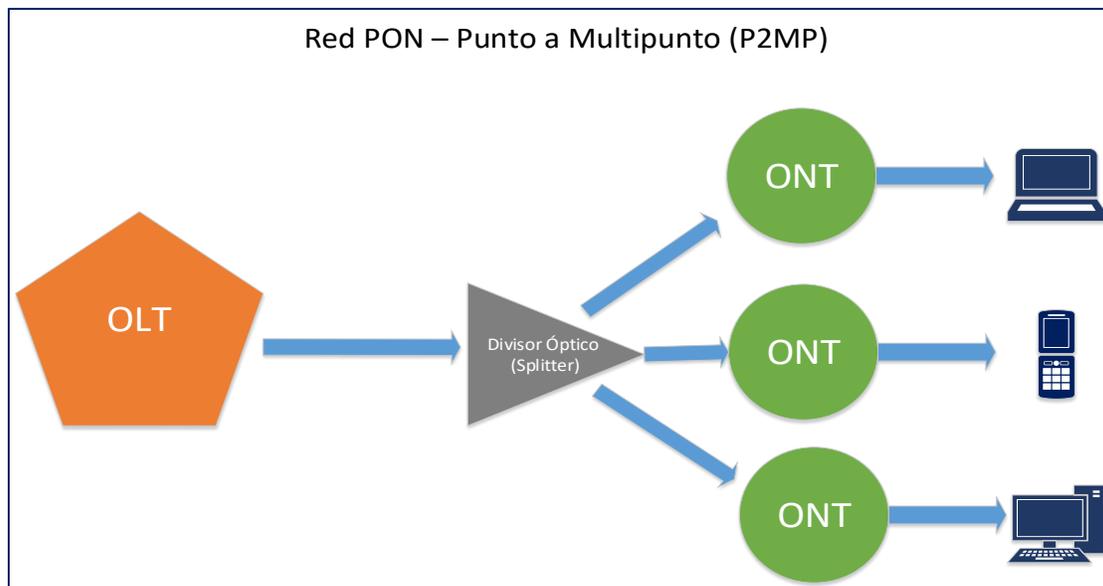


Figura 12.- Topología Pon-Punto a Multipunto (P2MP)

### 3.4 Técnicas de multiplexación.

La capacidad total de transmisión de una fibra óptica es amplia e idealmente debería ser compartida por múltiples clientes. Una tecnología llamada multiplexación permite que una sola fibra sea utilizada para transportar múltiples señales o servicios.

#### 3.4.1 Multiplexación en el Dominio del Tiempo (TDM)

Es una técnica para los sistemas de transmisiones digitales en donde el ancho de banda total de transmisión es asignado a cada canal durante un intervalo de tiempo. Con este tipo de multiplexación los servicios para diferentes clientes se envían y reciben como paquetes en espacios de tiempo específicos.

Las técnicas de TDM se utilizan en redes punto a punto de larga distancia, pero también en las redes ópticas pasivas (PON) de FTTH. La multiplexación y demultiplexación se realiza en el equipo electrónico como el OLT (Optical Line Termination) en la oficina central y en la ONU (Optical Network Unit) en el

suscriptor. (MINGUEZ, CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE DISPOSITIVOS BASADOS EN HOLOGRAFÍA DINÁMICA, 2007)

En la Figura 13 podemos observar el funcionamiento.

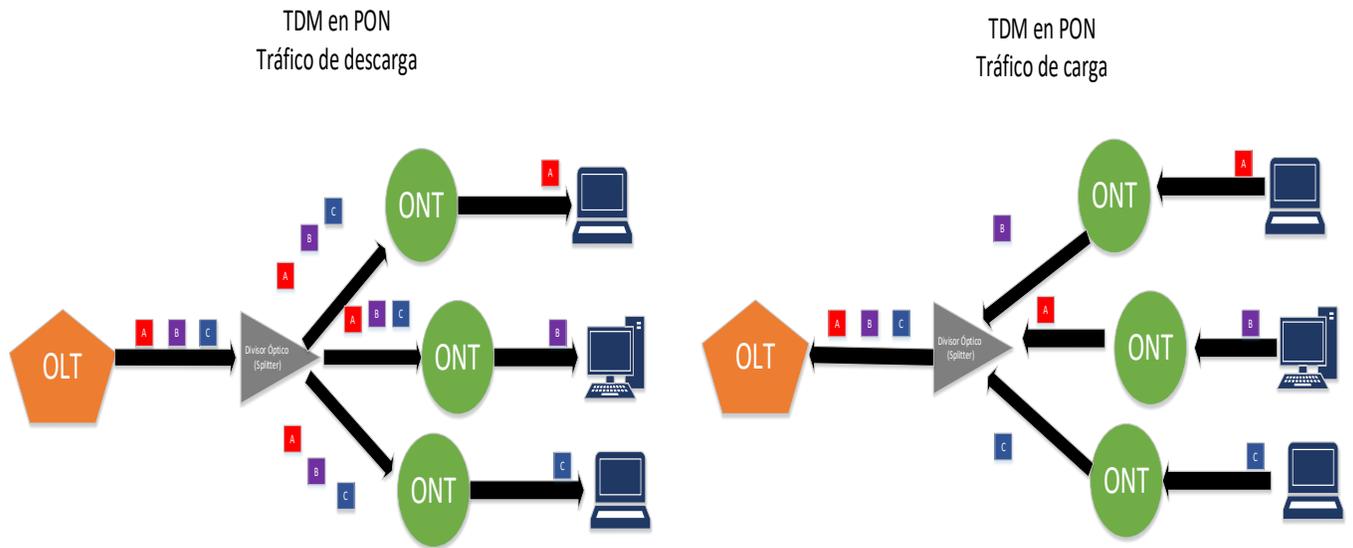


Figura 13 TDM datos de carga y descarga.

### 3.4.2 Multiplexación por división de longitud (WDM)

Es una técnica que permite transmitir múltiples frecuencias (o longitudes de onda) a través de la misma fibra simultáneamente. Esto se logra mediante el uso de transmisores o transceptores ópticos con salidas sintonizadas en longitudes de onda individuales y específicas de modo que haya canales de transmisión distintos y que no se superpongan.

Se pueden combinar diferentes longitudes de onda en una sola fibra usando un dispositivo llamado multiplexor (MUX). En el extremo receptor, la señal combinada es descifrada por un demultiplexor (DEMUX). De esta manera, muchas señales diferentes pueden transmitirse a través de una sola fibra al mismo tiempo. En lugar de una secuencia de datos, puede enviar y recibir muchas secuencias, aumentando la capacidad del cable.

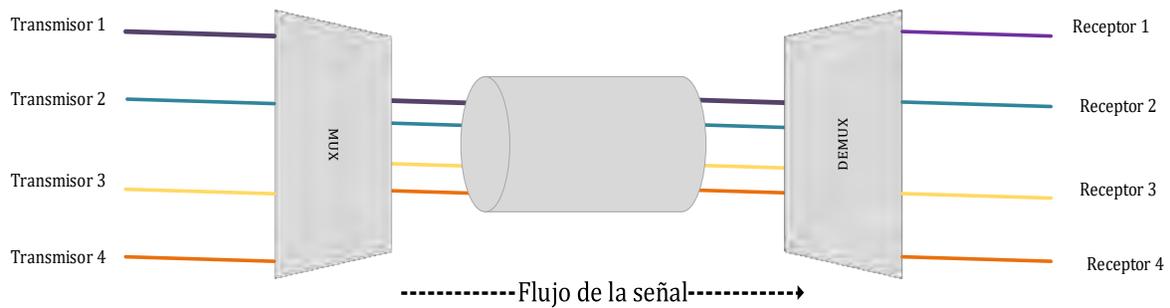


Figura 14 Multiplexación por división de longitud.

### 3.4.3 Multiplexación por división de longitud de onda densa DWDM.

Se refiere a las señales que se multiplexan dentro de un rango específico de longitudes de onda, alrededor de 1550 nm. Los amplificadores de fibra dopada con Erblio (EDFA) son particularmente efectivos para longitudes de onda entre 1525-1565 nm y 1570-1610 nm aproximadamente. De esta manera, grandes volúmenes de datos pueden ser recibidos y transmitidos en una sola fibra a distancias muy largas. Normalmente se usan 40 canales DWDM por fibra, pero es posible subir hasta 128 canales. Agregar canales en lugar de introducir más fibra y otros componentes de red puede ampliar la capacidad de la red sin la necesidad de instalar cables nuevos. Al introducir amplificadores ópticos que aumentan la señal, se pueden lograr distancias de hasta 1000 km. Otra variante es la multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM), que permite hasta 18 canales por fibra.

## 3.5 Clasificación de redes PON

### 3.5.1 APON (ATM-PON)

Las redes ATM-POM están definidas en la recomendación ITU-T G.983. APON basa su transmisión de canal descendente en ráfagas de celdas (ATM) de 53 bytes añadiendo un identificador de 3 bytes para identificar el equipo ONT.

La máxima tasa de transmisión es de 155 Mbps, esta se reparte dependiendo el número de clientes conectados al nodo.

### 3.5.2 Banda ancha PON (BPON)

Las redes BPON están definidas en la recomendación ITU-T G.983, son redes PON de banda ancha que se presentan como la evolución de las redes APON. Una de las ventajas principales es que puede dar soporte a otros servicios como Ethernet y distribución de video. Su principal característica es que trabaja por medio de la Multiplexación por longitud de onda (WDM).

Las redes PON cuentan con una variada gama de protocolos y estándares. Las dos tecnologías que actualmente lideran el mercado son las denominadas EPON y GPON.

### 3.5.3 Ethernet PON (EPON)

Está basado en el estándar IEEE 802.3ah. También denominado EFM (Ethernet 2 in the First Mille). Algunas características de importancia son:

- Combina los protocolos de transporte Ethernet con topologías de redes PON punto a multipunto.
- Incluye mecanismos para la operación, administración y mantenimiento de redes.
- Soporta operación CoS (Class of Service) para transportes de datos sensibles a los retardos, tales como video donde las tramas del video deben entregarse en secuencia y a tiempo para prevenir fallas visibles.
- Soporta TDM usando servicios de emulación de circuitos.

## 3.6.- ¿Qué es la red GPON?

Las redes ópticas pasivas Gigabyte (GPON) son redes que su estructura es basada en fibra óptica para la transmisión de información, brindan soluciones de bajo costo para agregar usuarios a través de divisores ópticos llamados Splitter,

que hacen que GPON sea deseable en áreas pobladas. Una red GPON puede alcanzar hasta 20 km y proporcionar servicio de hasta 64 usuarios finales. Utiliza datos ascendentes y descendentes mediante multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM).

A continuación, se mostrará una tabla de comparación entre estas dos tecnologías para entrar en contexto.

	EPON	GPON
Estándar	IEEE 802.3ah.	ITU-T G984.
Ancho de banda	1,25 Gbps simétrico.	2.5/1.5 Gbps simétrico o asimétrico.
Upstream (nm)	1490 (voz y datos IP) y 1.550 (video RF).	1490 (voz y datos IP) y 1.550 (video RF).
Downstream (nm)	1.310	1.310
Transmisión	Ethernet.	ATM, Ethernet, TDM, fibra.

# Capítulo 4

## 4. Tecnología GPON

---

En este capítulo se describe la tecnología GPON.

---

### 4.1 GPON

Las redes ópticas pasivas Gigabyte (GPON) son basadas en fibra óptica para la transmisión de información, brindan soluciones de bajo costo para agregar usuarios a través de divisores ópticos llamados Splitters. Una red GPON puede alcanzar hasta 20 km, utiliza datos ascendentes y descendentes mediante multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM).

### 4.2 Norma ITU-T G.984.x

GPON es un conjunto de recomendaciones G.984x de la ITU.T en donde se describen técnicas para compartir un medio común de fibra óptica por varios usuarios, encapsular información y gestionar los elementos de red.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) inició sus trabajos en el estándar GPON en el año 2002. Está estandarizado en el conjunto de recomendaciones ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6). Las primeras recomendaciones aparecieron durante los años 2003 y 2004, teniendo continuas actualizaciones en los años posteriores.

### 4.3 Arquitectura de FTTH - GPON

La conexión GPON se hace mediante un dispositivo que se encuentra en la central de la operadora llamado OLT (Optical Line Terminal) y el dispositivo llamado ONT (Optical Node Terminal) el cual es colocado en la casa del usuario final. Al ONT también se le puede denominar ONU (Optical Network Unit).

En la Figura 15 se puede visualizar la estructura de GPON.

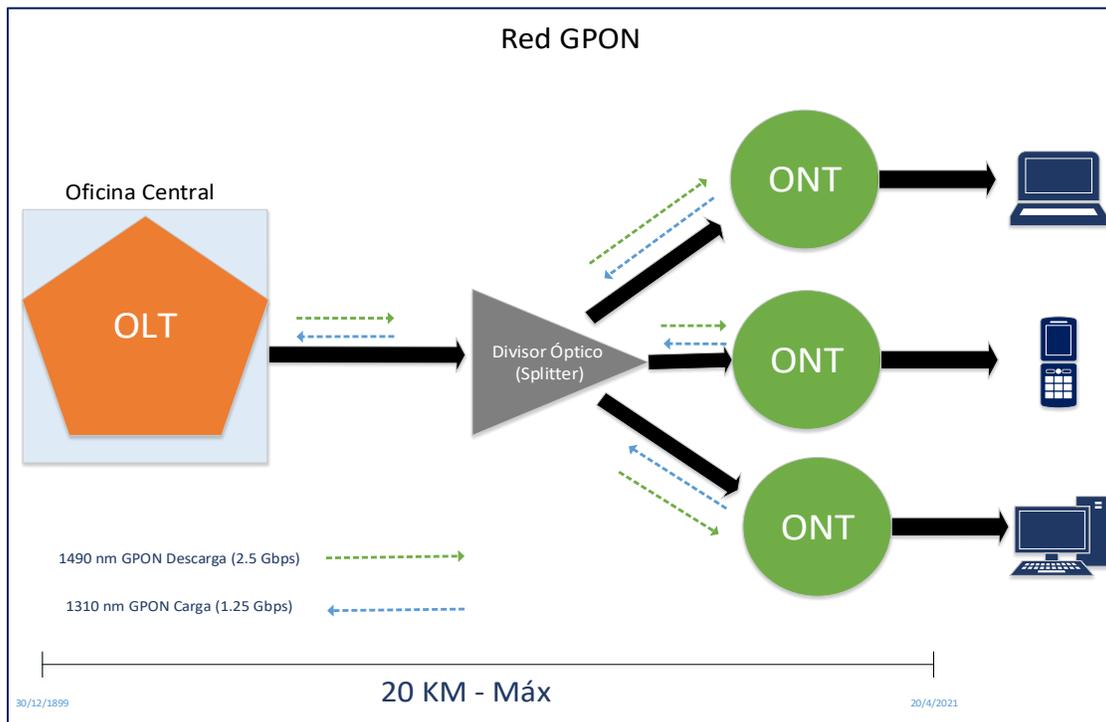


Figura 15 Red GPON

A continuación, se detallarán los elementos de GPON.

Terminal de línea óptica (OLT): Es el elemento activo situado en la central. De él parten las fibras ópticas hacia los usuarios (Telnet, 2012). La OLT tiene las siguientes características:

- Agrega tráfico y lo encamina hacia los clientes, funciona como router para ofrecer los servicios.
- La alimentación se encuentra en la central.
- Potencia la salida por puerto para cada usuario de 28dbm.

- La comunicación entre OLT y el ONT son completamente pasivos.
- La distancia máxima entre el OLT y ONT es de 20km.
- La longitud de onda es 1490nm (descarga) y 1310nm (carga).

Terminal de red óptica (ONT): Es un elemento situado en la casa del usuario que sirve como punto final del proveedor de servicios y ofrece las interfaces a los usuarios.

Divisor Óptico (Sppliter): El principal funcionamiento consiste en dividir la señal óptica en dos o más señales, éstas salidas son de menor potencia que la señal óptica original, pero mantienen el mismo contenido óptico de datos, por lo que cuantas más veces se divida, más usuarios dispondrán de la misma señal óptica, teniendo en cuenta la pérdida de velocidad, porque ésta también se divide. Se les denomina con el término pasivo debido a que no tiene la necesidad de emplear elementos electrónicos para conseguir las divisiones de la señal óptica.

#### 4.4 Funcionamiento de GPON.

Una red GPON es capaz de transmitir multiplexación dividida por tiempo (TDM), Ethernet y tráfico ATP, bajos las siguientes características:

Seguridad de nivel de protocolo: cifrado AES.

Velocidad de descarga: 2.4 Gbps

Velocidad de carga: 1.2 Gbps

Distancia física máxima: 20 km

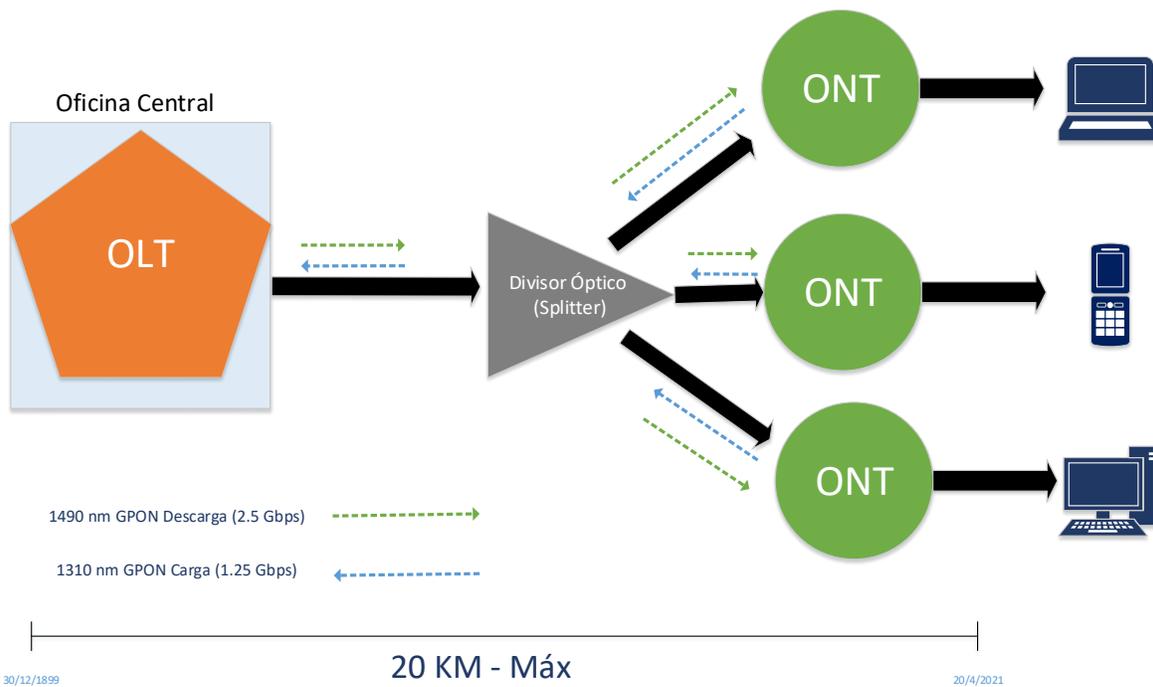


Figura 16 GPON

## 4.5 Datos en descarga (Downstream)

Algunas características de los datos de descarga son las siguientes:

- Los paquetes son transmitidos desde el OLT en modo broadcast TDM (Time Division Multiplexing).
- En TDM siempre se está emitiendo con un periodo temporal fijo, independientemente de que haya datos disponibles o no.
- Todos los datos se transmiten a todas las ONT y los splitters se limitan a replicar los datos.
- Cada ONT filtra los datos y se queda sólo con los que van dirigidos a su usuario. El resto de los datos son desechados porque corresponden a otros clientes.
- Los datos van cifrados para que una ONT no pueda leer los datos de otro usuario.

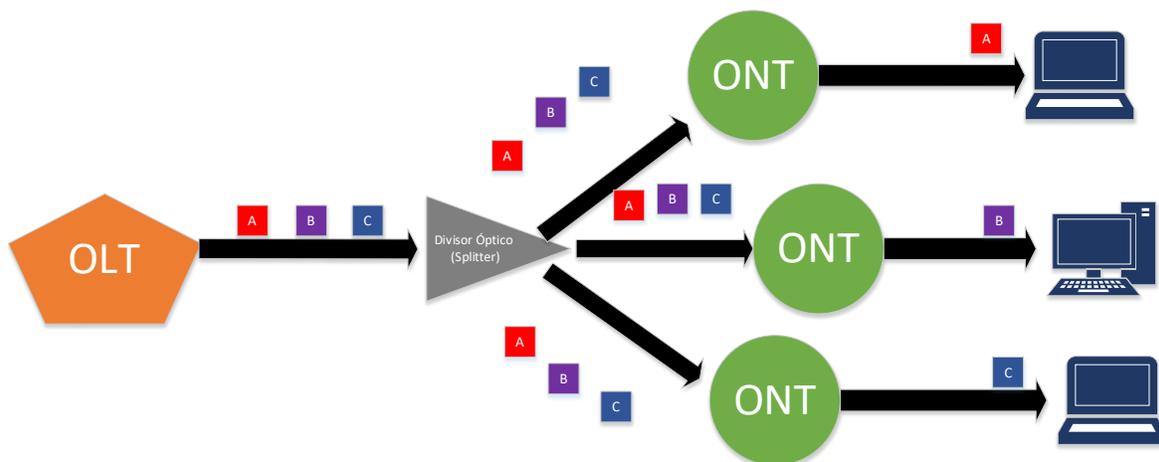


Figura 17 Tráfico de descarga

#### 4.6 Datos de carga (Upstream)

Algunas características de los datos de carga son las siguientes:

- Los paquetes son enviados por el ONT en modo TDMA (Time División Múltiple Access).
- Los datos van desde el ONT de cada cliente al OLT de la operadora. Los datos de todos usuarios se juntan en el splitter.
- En TDMA el ONT sólo se transmite cuando es necesario para que no se produzcan colisiones al enviar los datos al OLT.
- El OLT es el que indica al ONT cuándo debe emitir para que no se produzcan estas colisiones y debe saber la distancia de todas las ONT para tener en cuenta el tiempo de llegada de cada una.

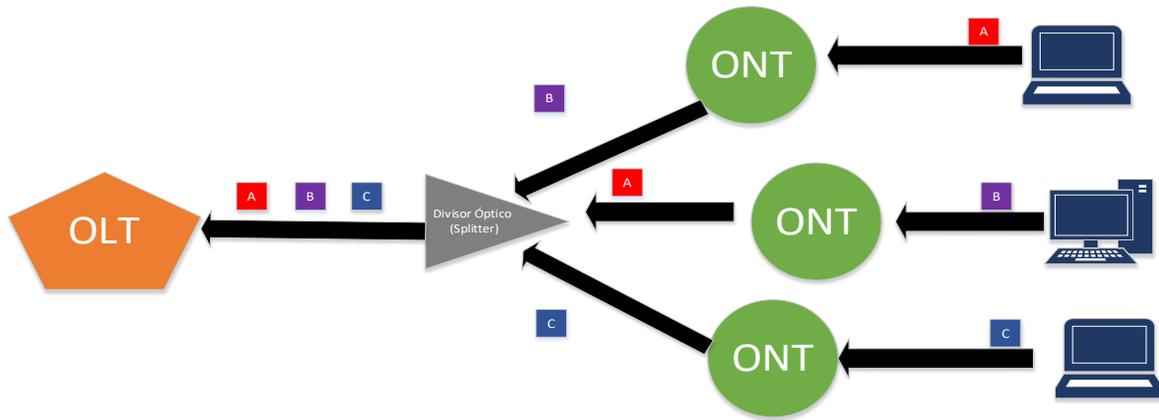


Figura 18. Tráfico de carga.

#### 4.7 Características y ventajas

Permite conexiones de fibra de hasta 20 km entre la OLT y la ONT, es una gran ventaja porque las antiguas conexiones xDSL solo alcanzan un máximo de 5,5 km a una velocidad de conexión más baja. Esta es la razón por la cual los usuarios que viven lejos de la central solían sufrir una interrupción en relación con la velocidad contraída con su proveedor de internet.

No necesita equipo intermedio activo entre la OLT y la ONT. Simplifica el despliegue de fibra y permite topologías de red mucho más sencillas y económicas. Esto debido a que los divisores son elementos pasivos.

Reducción considerable de costos para el operador porque permite enviar muchos servicios al mismo tiempo a través de la misma conexión de fibra. Gracias a la multiplexación podemos enviar simultáneamente:

- ✓ Voz (teléfono VoIP)
- ✓ Datos (internet)
- ✓ TV y video (Multicast): Podemos enviar televisión digital en alta definición (IPTV), video a pedido (VOD), transmisión analógica por RF.

La operación y el mantenimiento para los operadores también son más simples porque GPON tiene administración remota del equipo del usuario (ONT), descarga de actualizaciones, parámetros de operación y más.

#### 4.8 Seguridad.

Debido a que la transmisión de flujo descendente de GPON se envía desde la OLT a todas las ONT, se puede reprogramar su propia ONT para capturar la información entrante que estaba destinada a otra. También puede interceptar datos, y que también puede haber una OLT falsa que transmite y recibe datos de múltiples suscriptores. El atacante desconocido ahora puede recibir datos importantes que se envían hacia arriba y hacia abajo, como contraseñas importantes. Debido a esta capacidad de interceptación, la recomendación G.984.3 de GPON muestra mecanismos de seguridad en los que se puede utilizar un algoritmo encriptado, Advanced Encryption Standard, por lo que será difícil encriptar la información utilizando las teclas de bytes 128, 192 y 256.

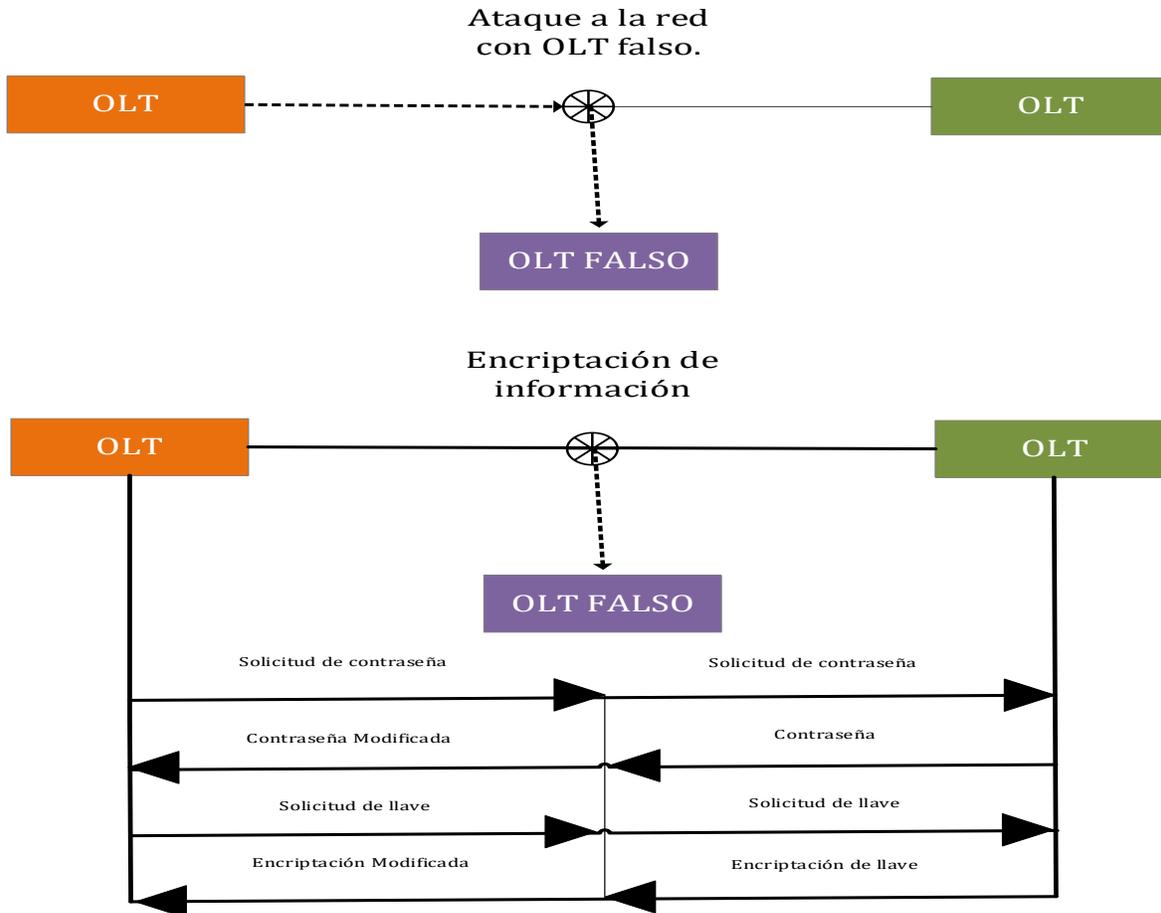


Figura 19. Seguridad GPON.

#### 4.9 Estándar de cifrado avanzado (AES)

El Estándar de cifrado avanzado (AES) especifica un estándar aprobado por FIPS algoritmo criptográfico que se puede utilizar para proteger datos electrónicos. El algoritmo AES es un cifrado de bloque simétrico que puede cifrar y descifrar información. El cifrado convierte los datos a una forma ininteligible llamada texto cifrado; descifrar el texto cifrado vuelve a convertir los datos a su forma original, denominada texto sin formato. El algoritmo AES es capaz de utilizar claves criptográficas de 128, 192 y 256 bits para cifrar y descifrar datos en bloques de 128 bits. (PUBS), 2001)

## 4.10 ¿Por qué GPON?

Con la tecnología en constante crecimiento y los usuarios finales que exigen una velocidad de internet más rápida, la tecnología de fibra óptica es el camino a seguir. Las redes de fibra hasta el hogar (FTTH) continúan teniendo una gran demanda debido a esto. Los cables de fibra son lo único que puede soportar la demanda de velocidades más altas, así como la distancia dentro de las redes. Los cables de fibra óptica tienen otra ventaja sobre los cables de metal, como el cobre, son menos susceptibles a la interferencia. Los riesgos de chispas son siempre una posibilidad cuando se usa un cable de metal para transmitir la señal. Pueden producirse pequeñas chispas al enviar potenciales eléctricos por un medio metálico, estas pequeñas chispas tienen el potencial de causar escasez. Al usar cables de fibra óptica GPON, esto eliminará ese peligro debido a que no se transmite corriente. Con una sola fibra óptica que es capaz de soportar múltiples usuarios debido al uso de divisores ópticos pasivos, GPON es una ventaja al reducir el equipo, satisfacer las áreas de alta densidad y soportar el servicio triple play; voz, datos y video IP. Dado que las conexiones de Ethernet son solo punto a punto, la clara ventaja de GPON es que es punto a multipunto, además de ofrecer velocidades descendentes más altas que EPON / GEPON.

### 4.10.1 Desventajas

Los instaladores deben tener cuidado con las juntas mecánicas para evitar pérdidas y atenuaciones. Necesitan personal y equipos especializados para hacer empalmes de fibra.

La identificación y la corrección de la reflexión se encuentran en el canal descendente (abajo de la OLT a la ONT del usuario) y en el canal ascendente (arriba de la ONT a la centralita con la OLT).

Los instaladores no pueden colocar el hardware que desean. Con las líneas xDSL, podríamos comprar el enrutador neutral que quisiéramos y ponerlo. En las conexiones de fibra, la ONT debe estar registrada en la OLT, y no vale ningún hardware. Por lo que es necesario obtener las claves de configuración para poder

instalar el hardware que queremos y seguir todo el proceso y reemplazar el ONT y el enrutador integrado del operador por su cuenta.

# Capítulo 5

## 5. Evolución de las Comunicaciones con la Aparición de GPON

---

Se presenta una breve discusión referente a la evolución de las redes de comunicaciones debido a la implementación de la tecnología GPON.

---

Hoy en día estamos evolucionando hacia una sociedad digital global, estamos en una etapa de transformación en la forma en que trabajamos, estudiamos, aprendemos y prosperamos.

Hace alrededor de 15 a 20 años, las conexiones a internet domésticas y comerciales eran bastante lentas. Descargar una sola imagen tomaba horas. Y, dado que generalmente se accedía al Internet a través de líneas telefónicas, debía elegir entre hacer una llamada telefónica y usar el Internet, y no se podía hacer ambas cosas al mismo tiempo. La llegada de la banda ancha cambió eso para siempre. Finalmente, fue posible transmitir información a través de múltiples canales simultáneamente.

Para poder identificar las etapas de evolución en las comunicaciones es importante remontarnos a hace algunos años, En 1995 aparece el grupo FSAN (Full Service Access Network) Red de Acceso de Servicio Completo, que es una organización a nivel mundial de operadores de telecomunicaciones, laboratorios de pruebas independientes y proveedores de equipos para trabajar en pros de un objetivo común: las redes de acceso de fibra óptica de banda ancha. (Zambrano, 2015)

Para 1998 aparecen las redes APON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM) está definida en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. (Marchukov, 2011)

En el año 2001 se desarrollan las redes BPON, ésta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología APON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet, distribución de video, y multiplexación por longitud de onda (WDM) logrando un mayor ancho de banda, entre otras mejoras.

Paralelamente a la evolución de las redes PON estandarizadas por la ITU, surge una nueva especificación realizada por el grupo de trabajo EFM (Ethernet en última milla), constituido por la IEEE. La intención era aprovechar las ventajas de la tecnología de fibra óptica de redes PON, y aplicarlas a Ethernet es así como en el 2004 nace EPON.

Hoy en día aún se sigue explotando el bucle de abonado de cobre a pesar de la continua demanda de ancho de banda más grande siendo el principal inconveniente, únicamente pueden ofrecer en el mejor de los casos 100 Mbps en descarga y 50 Mbps de carga, otro inconveniente es el incremento de las pérdidas de señal mientras más larga sea la distancia. Es por ello por lo que surgen las redes GPON para dar solución a dichos problemas.

GPON aparece como sustituto de las redes EPON que sustituye el uso del cable de cobre por fibra óptica. Lo cual tuvo un gran impacto. Hoy en día, se trata del estándar más avanzado sobre el que se sigue aun trabajando. En la última década en las telecomunicaciones aparecen nuevos productos con mejoras permanentes, Todos estos nuevos productos se interconectan con las redes actuales, exigiéndoles mayor velocidad y performance. Las redes sociales, movilidad inalámbrica e internet contribuyen a demandar mayor velocidad y exigencia en las redes, que recae en sus componentes o equipos: como lo son los conmutadores, enrutadores, multiplexores, pasarelas de medios, servidores, entre otros.

El cambio tecnológico del mundo metálico hacia las redes ópticas es inevitable. Alargar el período de vida de los sistemas actualmente instalados, lo que tiende es

provocar el mal funcionamiento y retraso tecnológico, que se traduce en una mala experiencia para el usuario final, en base a la creencia de que las redes basadas en fibra son costosas cuando la mirada debería ser diferente: la red de acceso fija/móvil es única, deja de ser un cuello de botella y permite crecer anchos de banda sin límite y esto permite que una empresa de comunicaciones no tenga límite en la creación de servicios sobre la misma y con ello pasar de facturar tres servicios (voz, internet, video) a factura a sus clientes 10 o 20 servicios nuevos, reduciendo el tiempo de amortización y costo por cliente FTTH GPON de manera no convencional. (G., 2009)

De las ventajas más significativas que ofrece GPON desde su auge con las demás tecnologías son:

- Bajos costos en mantenimiento de la red.
- Gran capacidad en la transmisión de información.
- Amplia cobertura.
- Mayor cantidad de usuarios.
- Servicio completo e interoperabilidad.
- Aumento de las distancias en comparación con otras tecnologías.
- Escalabilidad.

Debido a la gran demanda de servicios, los proveedores de internet se han visto en la necesidad de ir evolucionando sus redes y adaptarlas para la satisfacción de sus clientes, hoy en día se puede decir que están teniendo una alta demanda y necesidad de fibra óptica, puesto que, por la pandemia por SARS-CoV-2, los usuarios requieren mayores velocidades de red al laborar desde sus hogares, entonces cada vez la exigencia es mayor y para ello es importante analizar las estadísticas. En estos últimos meses de contingencia el porcentaje de uso del internet se incrementó un 200 y 300%.

Según Maricela Garcia, Directora Comercial de FIBRAS ÓPTICAS DE MÉXICO, “El número de usuarios de internet fijo en México sigue en constante crecimiento y exigen tecnologías de mejor calidad, con mayores velocidades y estabilidad de la señal. Hoy más que nunca se usan servicios en la nube, comercio electrónico,

banca digital, así como redes sociales donde se involucran cada vez más videos y transmisiones en directo” (García, 2020).

Es importante recalcar que los actuales acontecimientos de salud pública en México y en el mundo han sido un acelerador para que las empresas migren a servicios digitales. Se podría decir que la comunicación sólo se concibe de forma remota y cada miembro de una familia están conectados al mismo tiempo, por lo que más que nunca esperan que su señal no tenga fallas.

Entonces la adopción de GPON ha sido positiva gracias a las ventajas que ofrece en comparación con la conexión por cable de cobre, como la velocidad, la distancia, la inmunidad a la transferencia electromagnética, entre otras.

“Las redes GPON han evolucionado en un tiempo muy corto, introduciendo cambios en sus respectivas tecnologías, no obstante algunas siguen en fase de desarrollo con el fin de introducir mejora tecnológica estable en el campo de las telecomunicaciones” (Tejedor, 2008).

GPON ha tenido gran auge pero esto se debe a las grandes ventajas y características, a continuación se muestra una tabla comparativa de las tecnologías.

características	APON	BPON	GPON
<b>Estándar</b>	ITU-T G.983.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
<b>Velocidades de transmisión (Mbps).</b>	Descarga: 155, 622, 1244 Carga: 155, 622	Descarga: 1244 Carga: 1244	Descarga: 1244, 2488 Carga: 155, 622, 1244, 2488
<b>Tipo de fibra</b>	Monomodo estándar (ITU-T G.652)		
<b>Distancia máxima</b>	20km	10km	20km
<b>Modo de tráfico</b>	ATM	ETHERNET	ATM, Ethernet, TDM
<b>Arquitectura de transmisión</b>	Simétrica y asimétrica	Asimétrica	Simétrica y asimétrica
<b>Seguridad</b>	AES	No definida	AES

<b>Eficiencia</b>	Carga 80% Descarga 83%	Carga 61% Descarga 73%	Carga 94% Descarga 93%
-------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

Tabla 1.- Tabla Comparativa Tecnología Gpon, Fuente Ramón Jesús Millán).

## Actualización de GPON.

Con el aumento de los servicios más innovadores, como la televisión de alta definición 4K, las casas inteligentes, Internet de las cosas, fibra hasta el hogar, se está viendo una nueva ola de desarrollo. Los servicios están poniendo cada vez mayores demandas de ancho de banda, y 1 Gbit / s. (Imbett, 2009)

Se empieza a hablar con una vista a un futuro próximo, los nuevos modelos de negocio, e-aprendizaje interactiva, los servicios de telemedicina y la próxima generación de las tecnologías aumentarán drásticamente la necesidad de ancho de banda.

FSAN y la ITU-T están trabajando en la próxima generación GPON la cual se divide en dos fases: NG-PON1 (XG-PON) y NG-PON2 (WDMPON). A mediano plazo las mejoras en las redes PON se definen como XG-PON, mientras NGPON-2 es una solución a largo plazo en la evolución PON que requerirá ciertos cambios.

### XG-PON1

El requisito general de las redes XG-PON1 es proporcionar una mayor transmisión de datos que las redes GPON actuales. El sistema de XG-PON1, estandarizada en el ITU-T como Rec. G987.x, la tasa de subida es de 2,5 Gbps y la tasa bajada es de 10Gbps, cuatro veces la capacidad de GPON. En particular, la ODN en XG-PON1 es totalmente hereda de GPON, lo que implica que las fibras ópticas y divisores en sistemas GPON se pueden reutilizar en XG-PON1.

### NG-PON2

Se les denomina las redes de próxima generación, estas redes combina la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y división de tiempo (TDM) en la misma arquitectura para ofrecer una capacidad total de 40 Gbps.

Se utilizan longitudes de onda de 10 Gbps entre 1524 y 1544 nm para transmitir la señal ascendente y cuatro longitudes de onda entre 1596 y 1603 nm para transmitir el flujo descendente, sin embargo, la filosofía de diseño de NG-PON2 tiene varios problemas. Por un lado, el nuevo estándar tiene como objetivo soportar la división de múltiples etapas y altas relaciones de división (tal vez hasta 1024 usuarios por conexión CO), para utilizar de manera eficiente el amplio ancho de banda ofrecido por NG-PON2 y para reducir los costos del sistema con la reducción del número de fibras necesarias para conectar en la central, pero no muchos de los sistemas PON integrados actualmente implementados tienen las proporciones para soportar una relación de división muy alta. (Yin, 2020)

Un segundo problema es el presupuesto de energía potencialmente muy alto necesario para la implementación. Tener que soportar ratios de división muy altos aumentará la tensión y se necesitará mayor consumo de energía. El estándar NG-PON2 especifica un presupuesto de pérdida de hasta 35 dB entre OLT y ONT.

# Capítulo 6

## 6. Conclusiones

---

Se presenta las conclusiones del trabajo

---

A continuación se presentan las conclusiones del trabajo por cada capítulo.

### Capítulo 1.

El estudio teórico de los fundamentos de la luz se considera imprescindible para comprender de forma precisa el comportamiento de la fibra óptica, los fenómenos que ocurren dentro de ella y cómo interactúa para lograr las transmisiones de información.

### Capítulo 2.

La fibra óptica conlleva a esa evolución en las comunicaciones gracias a sus importantes características y ventajas que ofrece el hacer uso de ella.

Es una solución clave para dar cabida a las aplicaciones actuales, así como a las tecnologías futuras.

### Capítulo 3.

Existen diferentes tipos de tecnologías que han ayudado a resolver diferentes problemáticas en los sistemas de comunicaciones, el impacto de cada tecnología ha sido diferente a causa de que existen muchas brechas de necesidades dependiendo de los lugares o zonas donde se apliquen, así también el presupuesto que se tenga para poder realizar los distintos despliegues de red, pero todo esto ha ayudado a que las comunicaciones y medios de transmisión

vayan mejorando cada vez más con el paso del tiempo y que se puedan ir cubriendo la gran demanda del consumo banda ancha.

#### Capítulo 4.

GPON ha tenido gran importancia desde que apareció porque vino a resolver la mayoría de problemas que se tenían con la gran demanda banda ancha, además que fue el sustituto de EPON tecnología que estaba basada en cables de cobre y que no permitía una gran velocidad de transmisión.

A continuación se mencionan puntos importantes a destacar de las redes GPON:

- GPON es una tecnología basada en las redes PON.
- Estas redes aparecen gracias a la necesidad de transmitir información de diferentes servicios y a altas velocidades.
- Su alcance máximo es de 20 KM entre el OLT y el ONT la cual la hace potente con respecto a su antecesora la tecnología EPON.
- Las redes GPON aumentan la calidad del servicio y simplifican el mantenimiento de la red.
- Son inmunes a ruidos electromagnéticos gracias a las características de la fibra óptica.
- GPON permite crecer a mayores tasas de transferencia.
- son una solución muy práctica y eficiente para los problemas que se presentan hoy en día en cuanto al ancho de banda y la calidad de servicio.
- Se consideran redes seguras gracias al método de encriptación (AES).
- Escalabilidad: Podemos evolucionar a XG-PON y seguir utilizando la misma infraestructura de fibra.

## Capítulo 5.

Es un hecho que la tecnología va cambiando nuestro estilo de vida, con el paso de los años nos damos cuenta cómo ha ido evolucionando las comunicaciones y como venimos mencionando en este proyecto nos dimos cuenta que la fibra óptica ha detonado la capacidad de transmitir información, cosa que hace algunos años no podíamos jugar en línea, ver streaming en tiempo real sin interrupciones o la forma en que aprendemos incluso, la tecnología GPON ha sido un gran avance pero hoy día podemos ver que hay más tecnologías que están trabajando para superarla como la XG-PON, básicamente son las bases de GPON con aumento en la capacidad de transmisión aunque aún se está trabajando en eso. El presente trabajo es basado en GPON debido a que en muchos países esta tecnología aun no es una realidad y para poder seguir avanzando se necesita una estructura de red como GPON para seguir creciendo.

Una vez sabiendo los beneficios de la fibra óptica y las diferentes tecnologías como la que se presenta en este documento, es necesario realizarnos algunas cuestiones para poder hacer un diseño de la red que queramos implementar de acuerdo a nuestras necesidades.

Preguntas que nos ayudan a determinar la implementación de una red después de haber abordado este documento.

Redes ópticas activas o pasivas, esto está determinado en gran medida por factores como las distancias y el presupuesto que tengamos.

¿Qué tecnología es la más adecuada: GPON, GEAPON, WDM PON, PON, DSL? Esto depende de la distancia, el ancho de banda, la simetría y los requisitos de escalabilidad, la disponibilidad de fibra en diferentes ubicaciones de la red, las tasas de utilización y los tipos de usuario.

¿Qué tipos de arquitectura? Estas opciones están relacionadas con el tamaño de la red, el uso previsto, el presupuesto y los requisitos de flexibilidad.

Finalmente, las arquitecturas de red en cada región pueden variar significativamente dependiendo el uso previsto a corto o largo plazo y el tipo de

zona en la que se implementa, en ocasiones no se cuenta con las condiciones adecuadas y tenemos que optar por otras tecnologías.

## Bibliografía

- Bonilla, M. L. (2009). *Estudio Comparativo De Redes Gpon Y Epon*. Brasil.
- Commscope. (2018). *Fttx Fibra A La X, Principios Básicos*.
- G., Á. O. (2009). *Redes Gpon-Ftth, Evolución Y Puntos Críticos Para Su Despliegue*. Buenos Aires.
- García, M. (2020, Septiembre). *Evolución Tecnológica De Redes Y Telecomunicaciones Sólo Con Fibra Óptica*.
- Imbett, C. M. (2009). *Diseño Y Construcción De Una Red De Fibra Óptica*. Universidad Nacional De Colombia.
- Islas, J. L. (2006). *Redes De Banda Ancha*. Hidalgo.
- ITU-T. (2007). *Series G: Transmission Systems And Media, Transmission Media And Optical Systems Characteristics –Recommendation G.680*.
- ITU-T, I. T. (2008). *Gigabit-Capable Passive Optical Networks*.
- Malacara, D. (2015). *Óptica Básica*. Mexico Df.
- Marchukov, Y. (2011). "Desarrollo De Una Aplicación Gráfica.
- Minguez, A. M. (2007). *Contribución Al Estudio Y Optimización De Dispositivos Basados En Holografía Dinámica*.
- Minguez, A. M. (2012). *Conceptos Basicos De La Fibra Optica Como Medio De Transmisión*.
- Pubs), F. I. (2001). *Advanced Encryption Standard (Aes)*.
- Ricardo Alfonso Pinto García, A. F. (2014). *Sistemas De Comunicaciones Ópticas*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogota.
- Rojas, A. A. (2010). *Estudio Y Diseño De Una Red De Ultima Milla, Utilizando La Tecnología Gpon*. Quito.
- Sandoval, L. H. (2003). *Fundamentos Y Empalmes De Fibra*. México D.F.
- Santa Cruz, O. (2008). *Principios Generales De Fibra Óptica*.
- Tejedor, R. J. (2008). *Gpon (Gigabit Passive Optical Network)*.
- Telnet. (2012). *Gpon, Introducción Y Conceptos Generales*.
- Villareal, J. L. (2007). *Sistemas De Comunicación A Traves De Fibras Ópticas*. Nuevo León.
- Yin, C. F. (2020). Evolution Of Fiber Access Networks. Dans C. F. Yin, *Optical Fiber Telecommunications V11*. Ca, United States.
- Zambrano, M. (2015). *Nuevos Estándares Pon Para Sistemas Fttx*.