



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“ESTABLECER LOS PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN  
ÓPTIMOS PARA LA REALIZACIÓN DE EMPALMES POR  
FUSIÓN DE ARCO EN SPLITTERS CATEGORÍA 1:8 PARA  
UNA RED GPON.”**

# **TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA  
P R E S E N T A :**

**RÍOS TORRES PERLA NALLELY  
SERRATOS ZAVALA ROGELIO**

**ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS**



Bosques de Aragón, Estado de México, Agosto de 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Índice</b>  | I         |
| <b>Objetivo</b>  | III       |
| <b>Introducción</b>  | IV        |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo Fibras y cables ópticos</b>                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Medios de transmisión  | 1         |
| 1.1.1 Tipos de medios de transmisión   | 2         |
| 1.1.2 Medio de Transmisión Espacio aéreo                                     | 2         |
| 1.1.3 Medio de Transmisión Fibra óptica                                      | 3         |
| 1.1.4 Sistema de transmisión por fibra óptica                                | 4         |
| 1.2 Refracción, Reflexión y Difracción                                       | 5         |
| 1.2.1 Índice de refracción   | 7         |
| 1.3 Velocidades de Transmisión y Ancho de Banda                              | 9         |
| 1.3.1 Tipos de técnicas  | 10        |
| 1.3.2 Modulación   | 10        |
| 1.3.3 Etapas para la transmisión por multiplexaje                            | 12        |
| 1.4 Conversión de digital a analógica  | 13        |
| 1.4.1 Frecuencia y longitud de onda  | 16        |
| 1.5 Emisor láser   | 17        |
| 1.5.1 Tipos de Láseres   | 18        |
| 1.6 Emisor LED   | 21        |
| 1.7 Ley de SNELL   | 22        |
| 1.8 Reflexión de Fresnel   | 24        |
| 1.9 Dispersión de Rayleigh   | 26        |
| 1.10 Fibra óptica  | 27        |
| 1.10.1 Funcionamiento de la fibra óptica                                     | 28        |
| 1.10.2 Fibra Monomodo  | 29        |
| 1.10.3 Fibra Multimodo   | 30        |
| 1.10.4 Angulo de aceptación  | 32        |
| 1.11 Tipos de Dispersión en las fibras ópticas                               | 33        |
| 1.12 Ventanas de Operación   | 37        |
| 1.13 Perdidas en las fibras  | 39        |
| 1.14 Tipos de cable de Fibra Óptica Pasiva                                   | 42        |
| 1.14.1 Clasificación de los cables de Fibra Óptica                           | 43        |
| 1.14.2 Estructura de los cables  | 46        |
| 1.14.3 Estructura del cable canalizado                                       | 52        |
| 1.14.4 Estructura del cable aéreo  | 53        |
| 1.14.5 Estructura del cable enterrado  | 54        |
| 1.14.6 Estructura del cable de uso interior                                  | 54        |
| 1.14.7 Código de colores para tubos holgados                                 | 55        |
| 1.14.8 Código de colores para las fibras                                     | 56        |
| 1.15 Tipos de Conectores   | 59        |
| 1.16 La ferrule  | 63        |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 2 Funcionamiento, tipos de splitter y protocolo de recepción</b> | <b>64</b> |
| 2.1 Planta Externa   | 64        |
| 2.1.1 Red Centralizada   | 65        |
| 2.1.2 Red Distribuida  | 66        |
| 2.1.3 Elementos de una Red Óptica Secundaria                                 | 66        |
| 2.2 Tipos de cierres para Fibra Óptica Pasiva con divisores                  | 73        |
| 2.2.1 Divisores de potencia ópticos  | 74        |
| 2.2.2 Divisores de longitud de onda óptica                                   | 75        |
| 2.2.3 Conexión en red óptica y topología de red                              | 76        |
| 2.2.4 Divisores centralizados  | 77        |
| 2.2.5 Divisores distribuidos   | 80        |
| 2.3 Elementos componentes de la red  | 83        |

**“ESTABLECER LOS PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN ÓPTIMOS PARA LA REALIZACIÓN DE EMPALMES POR FUSIÓN DE ARCO EN SPLITTERS CATEGORÍA 1:8 PARA UNA RED GPON.”**

---

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 2.4  | Protocolo # 9 para enlaces de Fibra Óptica                   | 84         |
| 2.4.1  | Principales características ópticas de los cables utilizados | 86         |
| <b>Capítulo 3</b> Parámetros de configuración para splitters con empalmadora de fusión de arco |  | <b>87</b>  |
| 3.1  | Ubicación de cierres de empalme y puntos de dispersión       | 88         |
| 3.1.2  | Tipos de Empalme   | 89         |
| 3.1.3  | Tipos de Caja Terminal Óptica                                | 91         |
| 3.2  | Tipos de cierres para Fibra Óptica Pasiva con divisores      | 94         |
| 3.3  | Operación y manejo de empalmadora                            | 96         |
| 3.4  | Preparación del cable de fibra óptica                        | 98         |
| 3.4.1  | Prefusion  | 99         |
| 3.4.2  | Fusión   | 100        |
| 3.4.3  | Protección del empalme                                       | 101        |
| 3.5  | Preparación de las F.O para su empalme                       | 101        |
| 3.6  | Recepción del enlace   | 104        |
| 3.7  | Presupuesto de Pérdida                                       | 110        |
| 3.8  | Parámetros y valores de atenuación                           | 112        |
| <b>Conclusiones</b>  |  | <b>115</b> |
| <b>Bibliografía</b>  |  | <b>116</b> |



## Objetivo

Integrar los parámetros de los cables de fibra óptica por medio del protocolo de recepción del operador telefonico en cuestión llevando a cabo la configuración optima en los empalmes de fusión de arco en los splitters categoría 1:8 para una red óptica pasiva con capacidad en giga bits



## **Planteamiento del problema**

En la segunda mitad de 2010 se inicia el despliegue de la fibra óptica en un escenario de penetración hasta el sitio del cliente (fibra hasta la casa o FTTH, por sus siglas en inglés). Esto permite ofrecer el acceso a Internet y toda una gama de nuevos servicios de banda ancha a velocidades de 20 Mbps o mayores desde la primera mitad de 2011. La fibra óptica en conjunto con la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) permitirá paulatinamente reemplazar la infraestructura de cobre con fibra óptica.

Este trabajo de tesis integra de forma general, los cables de fibra óptica así como el funcionamiento y tipos de splitters que son utilizados por el carrier correspondiente, estableciendo el protocolo y los parámetros de configuración para realizar un empalme óptimo. Se describe en forma general la tecnología de fibra óptica hasta el hogar, se hace la aclaración que la instalación de la misma es desde la perspectiva de planta exterior hasta la conexión y la puesta en servicio del suscriptor, cuando se contrata con el carrier correspondiente.

El servicio aún está a prueba en algunas zonas de la ciudad de Mexico, sin embargo el servicio requerido no funciona al cien por ciento, se han encontrado algunos problemas y la razón principal es que no existe la calidad que solicita el operador telefonico, debido a que el personal no tiene la información y la capacitación correspondiente para solucionar las fallas que se presentan en la unión de red principal con la red secundaria, asimismo con la red exterior del cliente.

La migración de cobre a fibra es gratuita siempre y cuando se encuentre dentro del rango del servicio, hasta el mes noviembre de 2012 es gratuito, siempre y cuando se tenga contratado el paquete con el operador telefonico en cuestión. Para planes nuevos no existe un costo aproximado ya que el servicio aún está en etapa de prueba

## **Hipótesis**

La construcción en la red de cliente para fibra a la casa (FTTH) es capaz de operar con un nivel de rendimiento satisfactorio siempre y cuando la normatividad requerida por el carrier correspondiente sea al cien por ciento, tomando en cuenta los requerimientos propios del sistema. El operador telefonico como parte de su estrategia extiende la fibra óptica para reducir la longitud del par de cobre para incrementar el ancho de banda del suscriptor final, Llevando a cabo una instalación específica y un seguimiento puntual de su instalación y operación

## **Introducción**

La mayoría de las redes de telecomunicaciones actuales están basadas en componentes activos en la central que da servicio y en los puntos de terminación en las instalaciones del cliente, así como repetidores, relevadores y otros dispositivos en el trayecto de transmisión entre la central y el cliente. Por componentes activos queremos decir dispositivos que requieren algún tipo de energía y generalmente incluyen procesadores, chips de memoria u otros elementos que están activos y procesando información en el trayecto de transmisión.

Con las redes ópticas pasivas, todos los componentes activos entre la central telefónica y las instalaciones del cliente son eliminados, se ponen en la red componentes ópticos pasivos para guiar el tráfico separando la energía de longitudes de onda óptica a puntos de terminación en el trayecto. Esta sustitución de componentes activos por pasivos permite ahorros para el proveedor del servicio al eliminar la necesidad de energizar y atender componentes activos en el bucle de transmisión. Los divisores pasivos o acopladores son simplemente dispositivos que funcionan dejando pasar o restringiendo la luz, y como tales, no tienen energía o requerimientos de procesamiento y virtualmente no tienen tiempo

promedio entre falla reduciendo así el costo general de mantenimiento al proveedor del servicio.

A fin de posibilitar el acceso a servicios de gran ancho de banda a usuarios localizados a distancias tales que no es posible brindarlos con tecnologías xDSL por sus limitaciones técnicas en cuantos a sus condiciones de funcionamiento, o que para ello se deben acercar los nodos xDSL a la zona a servir (es decir un modelo FTTC), en este caso se tornan atractivas las tecnologías de acceso mediante fibra óptica hasta el domicilio del cliente, es decir FTTH.

En este sentido existen diversas tecnologías disponibles y topologías implementables a fin de realizar un despliegue de acceso mediante fibra hasta el hogar. Estas tecnologías pueden clasificarse en primera instancia en dos grandes grupos:

- Redes Activas: red de fibra óptica con elementos activos en ella (fuera de la central), como en el caso de SDH-NG, o una red Metro Ethernet suficientemente distribuidas de modo que se pueda conectar directamente los clientes a la red. En ese caso estas redes cumplirían la función de red de acceso y no únicamente de transporte como es actualmente.
- Redes Pasivas: son redes de fibra óptica cuyos componentes son enteramente pasivos en la red de distribución (no en la central y domicilio del cliente). Estas se denominan PON (Passive Optical Network). Permiten compartir una misma fibra entre varios usuarios

La demanda de ancho de banda por parte de los usuarios de las redes cada vez es mayor, debido al surgimiento de nuevos servicios ofrecidos por las operadoras, entre los cuales destacamos; redes privadas virtuales, telefonía sobre IP, videoconferencia, televisión de alta definición, video sobre demanda, juegos en línea.



Tabla 1. Demanda de ancho de banda.

| <b>DEMANDA DE ANCHO DE BANDA (Mbps)</b> |       |
|---|-------|
| Video sobre Demanda (VoD)               | 15    |
| Redes Privadas Virtuales (VPN)          | 2     |
| Videoconferencia                        | 1     |
| Navegación en Internet                  | 1,5   |
| Juegos en línea                         | 1     |
| Dos conversaciones telefónicas IP       | 0,128 |
| Televisión de alta definición (HDTV)    | 19,2  |

Los avances en el backbone de las empresas y en las redes internas de los usuarios, unido al formidable crecimiento del tráfico de Internet, acentuaron el problema presente hoy en las redes de acceso; el ancho de banda disponible, formando un cuello de botella en el último kilómetro de la red (la red de acceso), debido a que las tecnologías usadas actualmente (xDSL, HFC, entre otras) no soportan los nuevos servicios (ver tabla 1) que la convergencia de las redes ofrecen. Estos servicios solamente pueden ser sustentados en una única red mediante el uso de fibras ópticas, convirtiendo a las fibras en el mejor canal de transmisión en la actualidad, desde el punto de vista de capacidad de información.

#### Resumen por capítulos

- **Capítulo 1** Se hace la descripción de los cables ópticos que están formados por dos componentes básicos, cada uno de los cuales debe ser seleccionado adecuadamente en función de la especificación recibida, o del trabajo a desarrollar:
- **Capítulo 2.** Se describe el splitter como un dispositivo que divide la señal de teléfono en varias señales, cada una de ellas en una frecuencia distinta. Este dispositivo se utiliza frecuentemente en la instalación de líneas ADSL, donde es necesario que la señal de datos y de voz convivan en la misma línea telefónica; esto se consigue dividiendo las señales de entrada de baja

frecuencia para la transmisión voz y de las de alta frecuencia para datos, permitiendo un uso simultáneo de ambos servicios. Así como el protocolo de recepción usado por el carrier correspondiente.

- **Capítulo 3** Se establecen los parámetros de configuración para splitters con empalmadora de fusión de arco.

# Capítulo 1

## Fibras y cables ópticos

En el desarrollo del presente capítulo se tocarán temas y conceptos fundamentales de las fibras ópticas, que son el elemento principal en una red de fibra óptica.

La fibra óptica es un filamento de vidrio, del espesor de un cabello (entre 8 y 300 micrones), llevan mensajes en forma de haces de luz que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro, donde quiera que el filamento vaya (incluyendo curvas y esquinas) sin interrupción.

Las fibras ópticas pueden ahora usarse como alambres de cobre convencionales, como en pequeños ambientes autónomos tales como en procesamiento de datos, en grandes redes geográficas tanto en los sistemas de largas líneas urbanas usadas por las compañías telefónicas.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación, pero también hay diferentes medios de transmisión donde se puede mandar información.

### 1.1 Medios de transmisión

Para que sea posible un enlace entre dos o varios puntos debe existir un medio de transmisión, siendo este cada vez más desarrollado.

Todo sistema de transmisión está constituido esencialmente por tres componentes:

- **Emisor**, es el dispositivo que genera la señal de información.
- **Medio de transmisión**, es el elemento a través del cual viaja la señal de información.

- **Receptor**, es el dispositivo que capta la señal de información generada por el emisor.

### 1.1.1 Tipos de medios de transmisión

Existen varios tipos de medios de transmisión como muestra la Figura 1.1, los más comunes son:

- El par físico.
- El espacio aéreo.
- La fibra óptica.

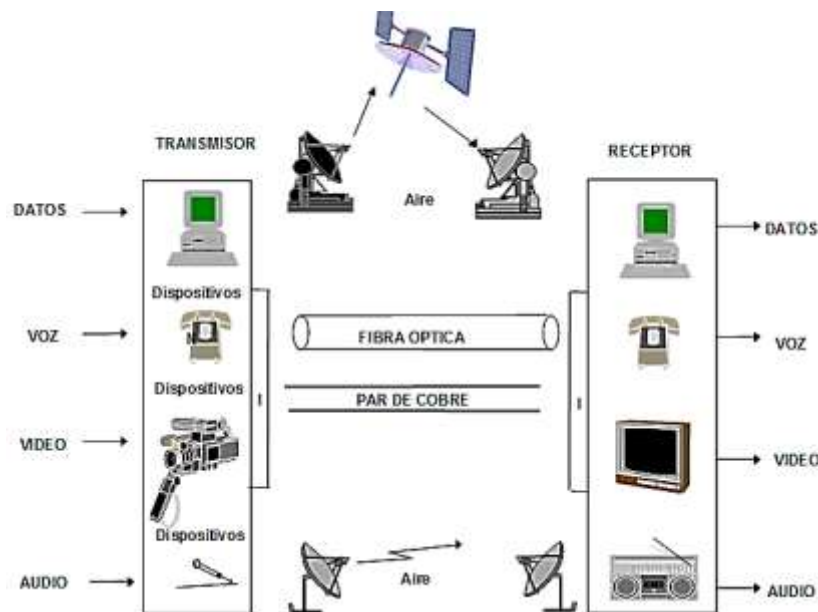


Figura 1.1 Tipos de medios de transmisión.

### 1.1.2 Medio de transmisión espacio aéreo

Por el espacio aéreo, además de propagarse las ondas sonoras, también se pueden transmitir ondas electromagnéticas. Estas son empleadas para transportar señales de las estaciones de radio y televisión comercial.

Dentro de la planta telefónica, las ondas electromagnéticas y en especial las señales de microondas son utilizadas para unir diversas localidades, por medio del espacio aéreo como muestra la Figura 1.2. Las ondas electromagnéticas al igual que las ondas sonoras no son visibles y también tienen características de amplitud, frecuencia y fase.

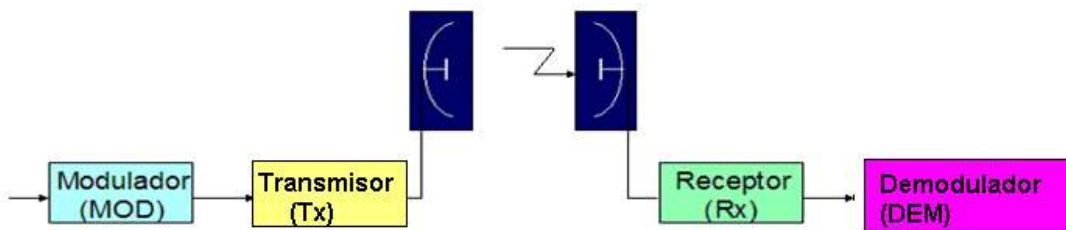


Figura 1.2 Diagrama básico de transmisión aérea.

En el caso del servicio telefónico, las antenas que se utilizan para transmitir son de forma parabólica y tienen que estar orientadas sobre una misma línea. La transmisión de señales electromagnéticas utilizando el espacio aéreo, tiene la desventaja de que se ve afectada por las condiciones atmosféricas y meteorológicas.

### 1.1.3 Medio de transmisión fibra óptica

La fibra óptica es un filamento de vidrio de forma semi cilíndrica, sólido, constituido de dos partes: núcleo y revestimiento.

- **El núcleo** es la parte central de la fibra, por la que es guiada la luz que incide por uno de los extremos de la fibra.
- **El revestimiento** es la parte que complementa al núcleo. Su función principal es reflejar la luz hacia el centro de la fibra.

La fibra óptica está formada por las siguientes partes fundamentales mostradas en la Figura 1.3.

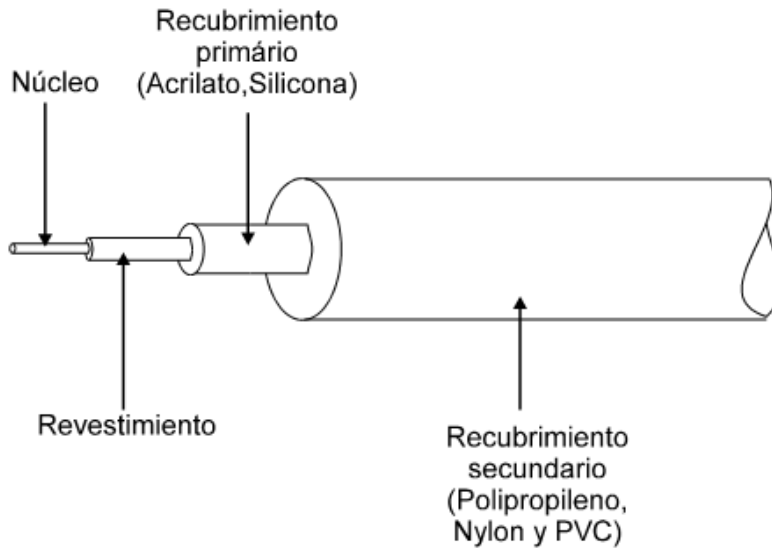


Figura 1.3 Partes fundamentales de la Fibra Óptica.

La fibra óptica respecto al cobre, ofrece una serie de ventajas muy importantes, estas son:

- Alta capacidad de información (Por el gran ancho de banda). Actualmente se puede transportar más de 1 terabit por segundo en una fibra óptica.
- Baja atenuación (hasta 0.35 dB/km y se reduce el número de repetidores).
- Inmune a interferencia electromagnética (la fibra conduce luz y no electricidad).
- Alto nivel de seguridad (Se puede instalar en cualquier lugar).
- Dimensiones pequeñas: El núcleo mide 9 micras ( $\mu\text{m}$ ) y el revestimiento 125 micras ( $\mu\text{m}$ ).
- Ligera (Un km. de fibra= 1.4 Kg).

#### 1.1.4 Sistema de transmisión por fibra óptica

La función de un sistema de transmisión por fibra óptica consiste en convertir la señal de información eléctrica de voz o datos en una señal de luz, transportarla por una fibra y regresarla a su estado original, la Figura 1.4 nos lo muestra de una forma más clara.

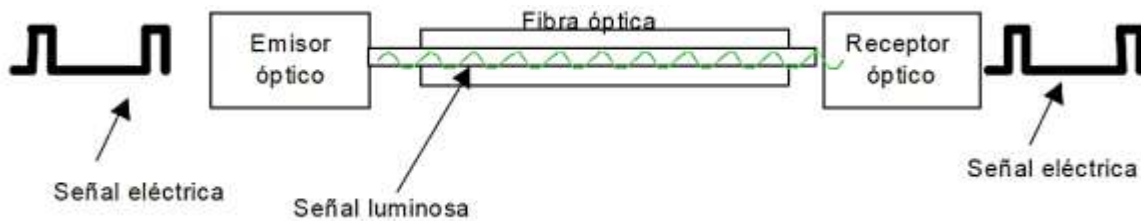


Figura 1.4. Sistema de Transmisión por Fibra Óptica.

La conversión de la señal eléctrica en señal de luz se realiza por medio del receptor óptico, el cual se encarga de recibir la señal de voltaje, acoplarla por medio de una Interfaz al emisor óptico y convertirla en una señal de corriente; esta señal de corriente provoca la variación de la intensidad de una fuente de luz. La fuente puede ser un rayo Láser o un diodo LED, (Diodo emisor de luz, por sus siglas en inglés). El rayo láser varía su intensidad en función de la señal de información. La luz del rayo es acoplada ahora a una fibra óptica, que es un tubo el cuál la guiara, esta puede viajar por la fibra óptica por varios kilómetros sin sufrir atenuación considerable.

En el otro extremo de la fibra se encuentra el receptor óptico. Este receptor capta las variaciones de intensidad de luz a través de un detector, el cual convierte la intensidad de luz en señal de corriente. La señal después es convertida a voltaje, por lo que queda recuperada la información que envió el transmisor.

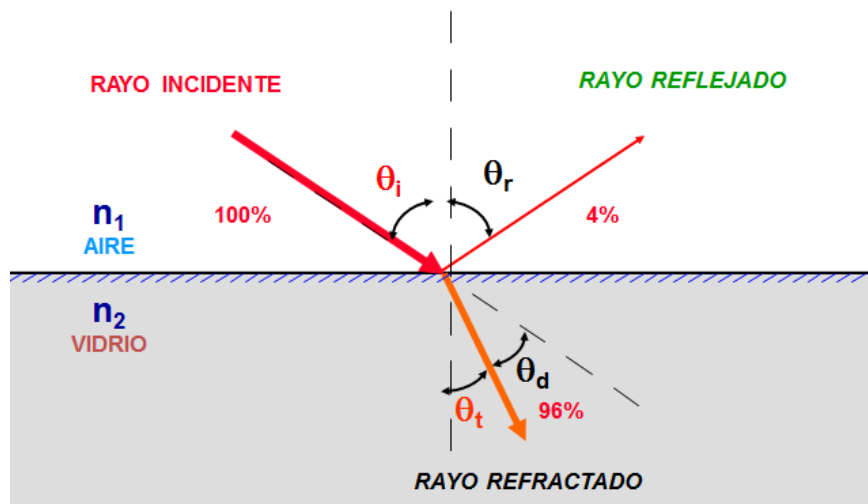
## 1.2 Refracción, Reflexión y Difracción

La naturaleza de la luz ha sido un enigma muy atractivo e interesante para los hombres desde la remota antigüedad. Los griegos creían que la visión era causada por partículas que emitía el cuerpo luminoso, que llegaban después al ojo.

Sin embargo Platón, Euclides y Claudio Tolomeo, creían que era lo contrario, es decir, las partículas salían del ojo para llegar después al objeto observado.

En la edad media se tenía la idea de que la luz era un flujo de partículas de naturaleza desconocida. Newton decía que la luz estaba formada por corpúsculos de diferentes tamaños y velocidades, sin embargo, siempre quedó la duda de si la luz era en realidad una partícula o una onda, pues conocían el fenómeno de la **Reflexión, Refracción**, como se observa en la Figura 1.5 y de la **difracción de la luz** y estos no podían explicarlos.

- **Reflexión.** Es el efecto que se produce cuando un rayo incide en una superficie pulida y se regresa. Un ejemplo muy conocido son los espejos.
- **Refracción.** Es el efecto que se produce cuando un rayo pasa de un medio a otro con diferente densidad. Por ejemplo, al llegar un rayo de luz en el aire y encontrar una superficie de agua, una parte de la luz se transmite en el agua y otra se refleja. Al entrar en el agua el rayo cambia de dirección de su propagación. Este efecto lo vemos cuando una persona tiene parte del cuerpo sumergido en agua clara, vemos como si sus piernas estuvieran mal colocadas o más cortas, lo que ocurrió es que la luz se refractó.



La Figura 1.5 es ejemplo de Refracción y Reflexión de la luz

- **Difracción.** Es el efecto de doblamiento que sufre un rayo de luz cuando viaja. Este no viaja en forma recta sino que se dobla o se difracta. Este fenómeno lo podemos notar cuando hacemos pasar un haz de luz por una rendija.



Sí viajara en forma rectilínea, solamente se vería la luz reflejada en la pantalla en los puntos A y B. Pero la luz no viaja exactamente en forma rectilínea por lo que tiende a doblarse; la pantalla se ve iluminada en los puntos C y D. Se dice entonces que la luz se difracta la Figura 1.7 nos ayudara a observar mejor este efecto.

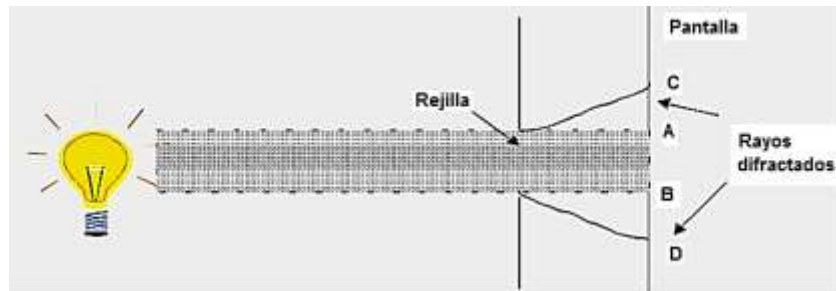


Figura 1.7 Difracción de la luz.

### 1.2.1 Índice de refracción

Cuando hacemos incidir una señal de luz en una fibra óptica, o en un tubo de vidrio o plástico transparente, o de algún otro material, se puede determinar que la luz se atenuará menos en un medio en el cual el material de la fibra tenga un índice de refracción cercano a uno.

Las fibras con alto grado de impurezas o de plástico provocarán mayor atenuación a la señal que viaje por ellas, que una fibra de vidrio con menor número de impurezas y un índice de refracción cercano a uno.

El índice de refracción de un medio homogéneo es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio. Y es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio, cuyos índices se calculan.

Se simboliza con la letra  $n$  y se trata de un valor adimensional.

El modelo matemático (1) es el siguiente:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Donde:

$n$  = Índice de refracción.

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

$v$  = Velocidad de la luz en el medio

En cada material la luz viaja a una velocidad distinta. Cuando una onda pasa de un medio a otro la velocidad se verá afectada, ya sea porque el cuerpo absorbe totalmente la energía luminosa o porque la refleje, o parte la refleje y parte la deja pasar.

Aunque se tenga una fuente de luz como el láser no es posible hacer que el rayo cruce una pared, a menos que ésta tenga una potencia muy grande, y lo que lograríamos con esto es destruir la pared. Sin embargo, las ondas del dominio electrónico pueden atravesar paredes muy gruesas, para este rango de frecuencias las paredes son transparentes. Las señales de voz logran pasar pero se atenúan considerablemente, y si la pared llega a ser suficientemente gruesa las señales de voz no llegan a cruzar. (Figura 1.8)

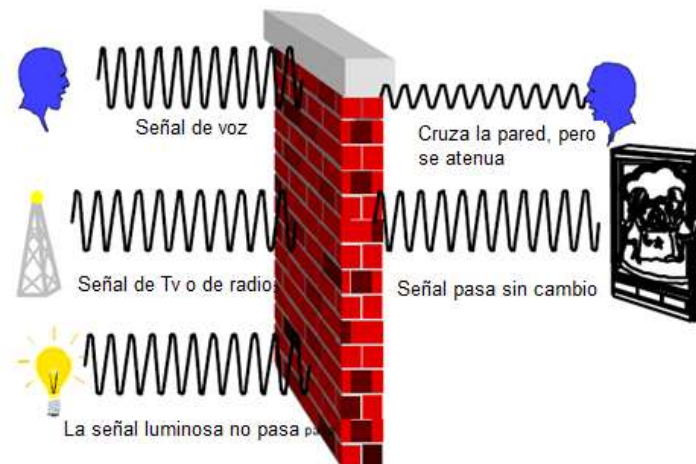


Figura 1.8 Tipos de señales.

Es necesario contar con un índice que indique cuanto se está reduciendo la velocidad de la luz. Si esta se encuentra en el espacio libre(c): es igual con la que se cuenta en el material (v), o sea  $c=v$ , el índice de refracción es igual a uno.

- Sí  $n=1$ ; la velocidad de la luz es la misma en el espacio libre que en el material.
- Sí  $n=2$ ; la velocidad de la luz viaja, en el material, a la mitad de la velocidad que en el espacio libre.
- Sí  $n=3$ ; la velocidad de la luz en el material es la tercera parte que en el espacio libre. Esto quiere decir que el índice de refracción de un material opaco será muy pero muy grande. A continuación se presenta una tabla con diferentes materiales y sus respectivos índices de refracción. Tabla 1.1:

**Tabla 1.1. Índices de refracción de los diferentes materiales.**

| Color           | Longitud de Onda |
|-----------------|------------------|
| Vacío           | 1.0              |
| Aire            | 1.0003           |
| Agua            | 1.33             |
| Alcohol etílico | 1.36             |
| Cuarzo fundido  | 1.46             |
| Fibra de vidrio | 1.5              |
| Diamante        | 2.42             |
| Silicio         | 3.4              |
| Galio arseniuro | 3.4              |

### 1.3 Velocidades de Transmisión y Ancho de Banda

Como complemento a todo un conjunto de elementos utilizados en las telecomunicaciones, es indispensable que conozcamos las técnicas de transmisión tanto digitales como analógicas. Las técnicas usadas actualmente en la red local incluyen las dos versiones, analógica y digital.

### 1.3.1 Tipos de técnicas

La Tabla 1.2 describe los diferentes tipos de técnicas.

Tabla 1.2. Tipos de técnicas.

| Técnicas       | Resultado   |
|----------------|---|
| Modulación     | Se denomina modulación al proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia.  |
| Multiplexaje   | El multiplexaje permite a muchas señales compartir un sólo medio de transmisión. En el interior de ese medio de transmisión, cada señal tiene su propio camino que en lo sucesivo llamaremos canal. Una de las formas del multiplexaje es la llamada multiplexaje por división de frecuencia (FDM). Este combina diversas señales de amplitud modulada en diferentes bandas de frecuencia en el medio de transmisión. |
| Demultiplexaje | El Demultiplexaje permite separar las señales que compartían un mismo medio de transmisión, y asignarles su circuito individual.  |
| Demodulación   | Independientemente de que una señal debe ser modulada frecuentemente, para transmitirla fielmente, cuando llega al final de la transmisión, debe ser convertida nuevamente en su forma original. A este proceso se le conoce con el nombre de Demodulación.   |

### 1.3.2 Modulación

La modulación de una señal consiste en generar una frecuencia de valor determinado y modificarla en amplitud, frecuencia o fase, en función de la señal de información.

Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la modificación de alguna de sus parámetros, siendo dicha modificación proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora.

A la señal resultante de este proceso se la denomina señal modulada y la misma es la señal que se transmite.

Es necesario modular las señales por diferentes razones:

- 1) Si todos los usuarios transmiten a la frecuencia de la señal original o moduladora, no será posible reconocer la información inteligente contenida

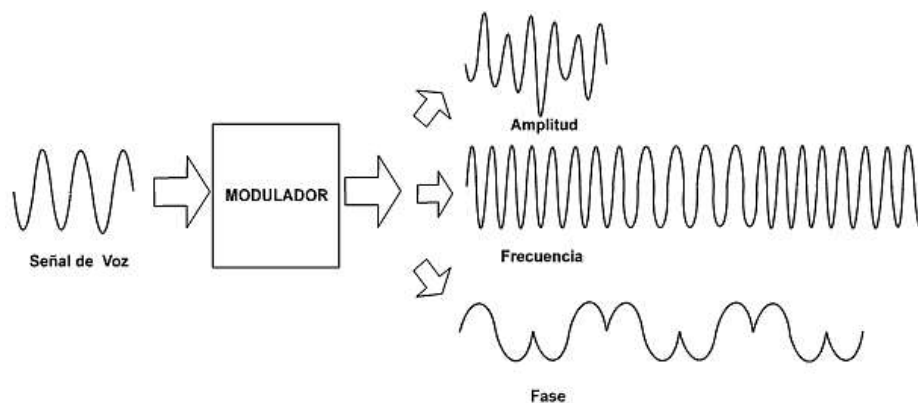
en dicha señal, debido a la interferencia entre las señales transmitidas por diferentes usuarios.

- 2) A altas frecuencias se tiene mayor eficiencia en la transmisión, de acuerdo al medio que se emplee.
- 3) Se aprovecha mejor el espectro electromagnético, ya que permite la multiplexación por frecuencias.
- 4) En caso de transmisión inalámbrica, las antenas tienen medidas más razonables.

En resumen, la modulación permite aprovechar mejor el canal de comunicación ya que posibilita transmitir más información en forma simultánea por un mismo canal y/o proteger la información de posibles interferencias y ruidos<sup>1</sup>.

**Tipos de modulación:** En la Figura 1.9 se muestran los tipos de modulación más simples utilizados en los radiotransmisores y módems de baja velocidad, los cuales son:

- En amplitud.
- En frecuencia.
- En fase.



**Figura 1.9. Ejemplifica la modulación en sus tres formas**

Cada una de estas formas requiere de un modulador apropiado.

---

<sup>1</sup> <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion>, Pagina recuperada, Junio 18 de 2013

Lo que tienen en común todas las técnicas de multiplexaje es que primero modulan algún aspecto de la señal. Ya que la modulación es un valor conocido, la señal en su forma original puede ser obtenida cuando llega al receptor, y ahí es demodulada.

### 1.3.3 Etapas para la transmisión por multiplexaje

Los multiplexores son circuitos con varias entradas y una única salida de datos, están dotados de entradas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las entradas de datos, para permitir su transmisión desde la entrada seleccionada hacia dicha salida.

**Técnicas de multiplexaje.** Hay varias técnicas diferentes de multiplexaje, tanto analógicas como digitales.

Lo que todas las técnicas analógicas de multiplexaje tienen en común es que la forma de la onda sinusoidal modula uno o más de los atributos (fase, frecuencia, amplitud) de una señal portadora. La siguiente tabla (Tabla 1.3) describe las técnicas más utilizadas:

**Tabla 1.3. Tipos de técnicas de multiplexaje.**

| Técnicas   | Descripción   |
|--|---|
| <b>FDM=</b> Multiplexaje por división de frecuencia. | Era originalmente usado, en el trayecto de la transmisión analógica. En las señales de amplitud modulada se multiplexa la frecuencia. |
| <b>TDM=</b> Multiplexaje por división de tiempo.     | Este es usado en la transmisión digital de las facilidades de la red local, así como en las redes de trayecto corto y largo.          |

La Multiplexación por División de Frecuencia FDM por sus siglas en inglés es una técnica utilizada en los sistemas de transmisión analógicos como se muestra en la Figura 1.10



Figura 1.10. Diagrama a bloques de multiplexaje FDM

Actualmente esta técnica fue desplazada por la Multiplexación por División de Tiempo TDM por sus siglas en ingles.

**Etapas de multiplexaje FDM.** A continuación se describe el proceso para multiplexar tres diferentes señales de voz, cada una de las cuales llega en su circuito individual: (Tabla 1.4)

Tabla 1.4. Etapas de multiplexaje FDM.

| Etapa | Descripción   |
|-------|---|
| 1     | <b>Modulación:</b> Cada amplitud de la señal de voz que entra modula su propia señal portadora. Una de las tres señales portadoras está a una frecuencia distinta a las otras dos, de tal forma que cada una de las tres señales moduladas resultantes tenga una diferente. A esta primera modulación se le llama banda base, que es la transmisión a su frecuencia original. Los anchos de banda de los canales de voz originales están todos a 4 KHz; los anchos de banda para las señales moduladas están todos a 4 KHz también. |
| 2     | <b>Multiplexar:</b> Cada canal de señal modulada tiene asignado su propio canal de frecuencia en el circuito. El rango particular de frecuencia esta determinado por la frecuencia de la señal portadora que la señal original de voz modula.   |
| 3     | <b>Transmisión FDM:</b> La transmisión FDM es llamada transmisión de banda ancha, donde se realiza la transmisión a una diferente frecuencia de la original. Para transmitir una mayor cantidad de canales, se agrupan en bloques de tres y se utiliza una frecuencia portadora de mayor valor para transportar todo el bloque.   |
| 4     | <b>Demultiplexación:</b> Al demultiplexar las tres señales resultantes, son ahora la banda base que contiene la información original de cada canal.   |
| 5     | <b>Demodulación:</b> Se obtienen nuevamente las señales como canales de voz individuales.   |

#### 1.4 Conversión de digital a analógica

Este proceso consiste en convertir los códigos binarios (señal digital) en señal analógica. La tabla (Tabla 1.5) muestra el proceso de la transmisión digital de voz:

**Tabla 1.5. Proceso de transmisión digital.**

| Etapa | Descripción   | Resultado   |
|-------|---|---|
| 1     | Completa el circuito.   | El loop se completa cuando el teléfono se descuelga.<br>Fluye corriente en el loop. |
| 2     | Modulación de voltaje de batería con la voz a través del micrófono. | Sonido que se convierte en señal eléctrica analógica.                               |
| 3     | Modulación PAM.   | Señal eléctrica analógica que se convierte en pulsos.                               |
| 4     | Modulación PCM.   | Los pulsos eléctricos son traducidos en código binario.                             |
| 5     | Transmisión.  | Señal digital llevando código binario, viaja a través de los medios de transmisión. |
| 6     | Demodulación PCM.   | Código binario traducido a una señal eléctrica de pulso.                            |
| 7     | Demodulación PAM.   | Señal eléctrica de pulso se convierte en señal eléctrica analógica.                 |
| 8     | Demodulación en el audífono del teléfono.                           | Señal eléctrica analógica que se convierte en sonido.                               |

**Ancho de banda.** El ancho de banda es un indicador de la cantidad de datos que pueden transmitirse en determinado periodo de tiempo por un canal de transmisión. Por lo general, el ancho de banda se expresa en bits por segundo (bps).

**Ancho del pulso.** El ancho de pulso es el periodo de tiempo que la fuente de luz está encendida en su amplitud máxima o potencia máxima. La fuente de luz es encendida y apagada, o modulada, para transmitir datos. El ancho de pulso se expresa en segundos (s) y, en el caso de la transmisión de señales de luz por fibras ópticas, se utilizan unidades más pequeñas como el milisegundo (ms) o el microsegundo ( $\mu$ s).

$$1\text{ms} = 1 \times 10^{-3} \text{ segundos}$$

$$1\mu\text{s} = 1 \times 10^{-6} \text{ segundos}$$

**Atenuación.** Es la pérdida de potencia de una señal, se representa con la letra griega alfa ( $\alpha$ ) y se expresa en decibeles (dB). La atenuación en el sistema de comunicación por fibra óptica es el resultado de diferentes factores.



**El decibel (dB).** Es una unidad de medida adimensional y relativa (no absoluta), que es utilizada para facilitar el cálculo y poder realizar gráficas en escalas reducidas. El decibel es una relación logarítmica entre dos potencias, multiplicada por 10.

Su fórmula es la siguiente:

$$\mathbf{dB=10 \log P1/P2} \qquad \mathbf{(2)}$$

Esta unidad se puede usar para medir ganancia o atenuación (si es negativa significa atenuación). Una ganancia de 3dB significa que la potencia de salida será el doble de la de entrada.

Una atenuación de 3 dB (ganancia de -3dB) significa que la potencia de salida será la mitad de la de entrada, es decir, si se tratara de una fibra óptica, en esta se estaría perdiendo la mitad de la potencia óptica.

Unidades basadas en el decibel.

Como el decibel es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referida la medida:

- **dBW:** La W indica que el decibel hace referencia a un watt. Es decir, se toma como referencia 1 W (watt). Así, a un watt le corresponden 0 dBW.
- **dBm:** Cuando el valor expresado en W es muy pequeño, se usa el miliwatt (mW). Así, a un mW le corresponden 0 dBm.
- **dBu:** El dBu expresa el nivel de señal en decibeles y referido a 0,7746 volts que, aplicada a una impedancia de 600 ohm, desarrolla una potencia de 1 W. Se emplea la referencia de una impedancia de 600  $\Omega$  teóricamente la impedancia de la línea.
- **dBc:** Nivel relativo entre una señal portadora (*carrier*) y alguno de sus armónicos.

### 1.4.1 Frecuencia y longitud de onda

Sí recordamos las características de una señal sinusoidal, esta tiene frecuencia, amplitud y fase. De la frecuencia podemos obtener la longitud de Onda ( $\lambda$ ). En la s Figura 1.11 se presenta el ciclo de una señal sinusoidal, formado por una cresta y un valle.

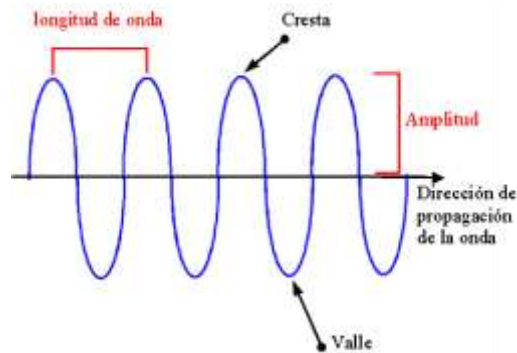


Figura 1.11 Frecuencia y longitud de onda.

**Frecuencia:** Es el número de ciclos de una señal y se mide en ciclos por segundo (C/S) o en Hertz (Hz). Ejemplo, Una señal de 1000 Hz, tiene 1000 ciclos o 1000 señales.

Existen señales de diferentes valores de frecuencia, por ejemplo las señales de voz tienen valores que van de 300 Hz hasta 3400Hz. Las señales que recibimos en una estación de radio tienen una frecuencia de KHz (kilo Hertz) o MHz (Mega Hertz). Las señales de telefonía inalámbrica o de las microondas llegan a tener valores de Giga Hertz (1 Giga Hertz=1, 000,000,000), o sea, en el orden de 1000 millones de ciclos.

**La longitud de onda ( $\lambda$ ):** Es la distancia que recorre un ciclo para completarse. Esto es, si prolongamos un ciclo de la señal sinusoidal y medimos su longitud, el valor que obtenemos es la longitud de onda y la representamos con la letra griega lambda ( $\lambda$ ).

La forma en que obtenemos el valor de longitud ( $\lambda$ ), es dividiendo la velocidad de la luz (C) en el espacio libre (300,000,000 m/seg.) entre la frecuencia (f).

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (3)$$

Donde:

$\lambda$ =Longitud de onda

C= Velocidad de la luz

f=Frecuencia

De cualquier forma, podemos expresar la señal en frecuencia (Ciclos por segundo o Hz) o en términos de longitud de onda (en metros o submúltiplos). Por alguna razón, cuando se habla de señales cuya frecuencia es muy grande del orden de billones de ciclos o más, se prefiere que estas siempre se expresen en términos de longitud de onda.

Conforme aumenta la frecuencia la longitud de onda se hace más pequeña, por lo que se deben usar submúltiplos del metro para expresar las unidades de longitud de señales de frecuencias muy altas. Estos submúltiplos son:

- Micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), una micra es igual a una millonésima de metro o  $10^{-6}$  metros.
- Nanómetro ( $\text{nm}$ ), es una unidad mil veces más pequeña que la micra o  $10^{-9}$  metros.

### 1.5 Emisor láser

La palabra láser designa a todos aquellos dispositivos que generan un haz de luz coherente como consecuencia de una emisión inducida o estimulada, descubierto dicho comportamiento en 1916 por Einstein. Su nombre se debe a un acrónimo del inglés laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - "Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación").

La radiación láser se caracteriza por una serie de propiedades, diferentes de cualquier otra fuente de radiación electromagnética, como son:

- **Monocromaticidad:** emite una radiación electromagnética de una sola longitud de onda, en oposición a las fuentes convencionales como las lámparas incandescentes (bombillas comunes) que emiten en un rango más amplio, entre el visible y el infrarrojo, de ahí que desprendan calor. La longitud de onda, en el rango del espectro electromagnético de la luz visible, se identifica por los diferentes colores (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta), estando la luz blanca compuesta por todos ellos. Esto se observa fácilmente al hacer pasar un haz de luz blanca a través de un prisma.
- **Coherencia espacial o direccionalidad:** la radiación láser tiene una divergencia muy pequeña, es decir, puede ser proyectado a largas distancias sin que el haz se abra o disemine la misma cantidad de energía en un área mayor. Esta propiedad se utilizó para calcular la longitud entre la Tierra y la Luna, al enviar un haz láser hacia la Luna, donde rebotó sobre un pequeño espejo situado en su superficie, y éste fue medido en la Tierra por un telescopio.
- **Coherencia temporal:** La luz láser se transmite de modo paralelo en una única dirección debido a su naturaleza de radiación estimulada, al estar constituido el haz láser con rayos de la misma fase, frecuencia y amplitud.

### 1.5.1 Tipos de Láseres

Existen numerosos tipos de láseres que se pueden clasificar de muy diversas formas siendo la más común la que se refiere a su medio activo o conjunto de átomos o moléculas que pueden excitarse de manera que se crea una situación de inversión de población obteniéndose radiación electromagnética mediante emisión estimulada. Este medio puede encontrarse en cualquier estado de la materia: sólido, líquido, gas o plasma.

- El primer láser fue desarrollado por Maiman en 1960 utilizando como medio activo un cristal cilíndrico de rubí. El láser de gas de CO<sub>2</sub>, que emite en el rango del infrarrojo, es capaz de proporcionar grandes potencias y presenta un gran rendimiento, por ello es el más usado. Éste tipo de láser es utilizado en numerosas y diversas aplicaciones, como por ejemplo en la manufactura industrial, comunicaciones, soldadura y cortado de acero, entre otras.
- Los láseres de Ión Argon y Krypton son utilizados en las discotecas ya que emiten en el rango del espectro visible...
- El láser Nd:YAG pertenece al grupo de los láseres de estado sólido y emite también en el rango del infrarrojo, siendo ampliamente empleado como en el tratamiento oftalmológico de las cataratas, en medicina estética o en procesos industriales, como tratamientos de superficie y mecanizados.

Los láseres de diodo están contruidos con materiales semiconductores son cada vez más utilizados debido a sus ventajosas características, como un menor tamaño y elevadas potencias de trabajo. Sin embargo la calidad de salida del haz es menor que con láseres.

- **Aplicaciones.** Debido a las propiedades tan particulares del haz láser, el rango de aplicaciones es amplísimo. El láser en la medicina es cada vez más usado al actuar muy selectivamente sobre la lesión, dañando mínimamente los tejidos adyacentes. Por eso produce muy pocos efectos secundarios en cuanto a destrucción de otro tejido sano de su entorno e inflamación, así como presentar una esterilización completa al no ser necesario instrumental quirúrgico. En la dermatología, éstos pueden eliminar casi todos los defectos de la piel bajo anestesia local. En oftalmología son utilizados los láseres de excímero, que eliminan capas submicrométricas de la córnea, modificando su curvatura.

La medición de distancias con alta velocidad y precisión fue una aplicación militar inmediata después de que se inventara el láser, para el lanzamiento de artillería o para el cálculo de la distancia entre la Luna y la tierra (384.403 km.), con una

exactitud de tan sólo 1 milímetro. También es utilizado en el seguimiento de un blanco en movimiento al viajar el haz a la velocidad de la luz.

Las aplicaciones más cotidianas de los sistemas láser son, por ejemplo, el lector del código de barras, el almacenamiento óptico y la lectura de información digital en discos compactos (CD) o en discos versátiles digitales (DVD), que se diferencia en que éstos últimos utilizan una longitud de onda más corta (emplean láser azul en vez de rojo). Otra de las aplicaciones son las fotocopiadoras e impresoras láser, o las comunicaciones mediante fibra óptica.

Las aplicaciones para un futuro próximo son los ordenadores cuánticos u ópticos que serán capaces de procesar la información a la velocidad de la luz al ir los impulsos eléctricos por pulsos de luz proporcionados por sistemas láser.

La fusión por confinamiento inercial es la aplicación más deseada ya que permitiría el desarrollo de la fusión nuclear del hidrógeno de una forma controlada, permitiendo la obtención de una elevadísima cantidad de energía. Dicho proceso se produce en el Sol y se obtuvo, aunque no de una forma controlada, en 1952, con la bomba atómica de hidrógeno.

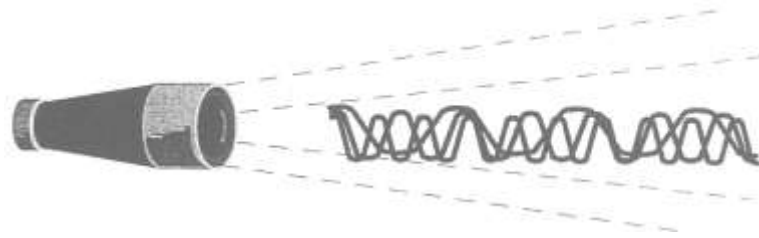
Dentro del procesado de materiales, el láser es utilizado en todas las ramas (corte, soldadura, marcado microscópico, etc.) al poder ser empleados en casi todos los materiales y tener una muy buena respuesta en el mecanizado<sup>2</sup>...

La palabra *láser*, cuyo nombre se forma con la primera letra de cada palabra de la frase en inglés Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). La característica de un emisor láser, y que lo hace muy diferente a otras fuentes de luz, es que está hecho de materiales que al estimularlo con una corriente eléctrica, la señal de luz

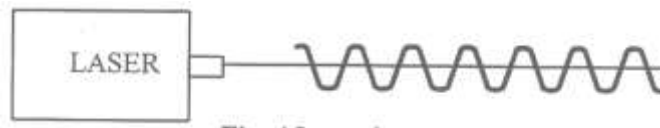
---

<sup>2</sup> <http://www.cienciapopular.com/n/Tecnologia/Laser/Laser.php>, Pagina recuperada, Junio 18 de 2013

que emite tiene coherencia espacial y temporal perfecta (Figura 1.13). *La potencia del rayo láser es de 1 watt.*



**Fig.1.12 Luz no coherente**



**Fig. 1.13 Luz coherente**

**Tabla 1.6 Clasificación de emisor Laser.**

| Clase                | Descripción   |
|----------------------|---|
| Clase 1              | Un LASER de muy baja potencia y puede ser considerado esencialmente seguro.   |
| Clase 2              | LASER visible con salida en el rango de los 400 a los 700 nm. Dentro de esta longitud de onda, el ojo se protege con el parpadeo. |
| Clase 2 <sup>a</sup> | LASER visible con salida en el rango de los 400 a los 700 nm que no deben ser vistos.   |
| Clase 3              | LASER con potencia media que pueden causar daños a la vista cuando son observados con o sin aumento.                              |
| Clase 3 <sup>a</sup> | LASER visible de potencia media.  |
| Clase 3b             | LASER invisible de potencia media.  |
| Clase 4              | LASER de muy alta potencia que pueden causar daños en la vista cuando se expone a la emisión ya sea directa, reflejada o difusa.  |

## 1.6 Emisor LED

Diodo emisor de luz, también conocido como (LED) acrónimo del inglés de Light Emissor Diode es un dispositivo semiconductor que emite luz coherente de espectro reducido, cuando se polariza en forma directa la unión PN del mismo es una forma de electroluminiscencia.

El color (longitud de onda) depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta la infrarroja. Los diodos emisores de luz ultravioleta también reciben el nombre de UV **LED** (*Ultra Violet Light Emisor Diode*) y los que emiten luz infrarroja suelen recibir la denominación de IRED (*Infra-Red Emitting Diode*). En la Tabla 1.7 se muestran los tipos de emisores.

Tabla 1.7 Longitud de onda de Diodos Emisores de Luz.

| Compuesto                              | Color                    | Longitud de onda |
|--|--------------------------|------------------|
| Arseniuro de galio (GaAs)              | Infrarrojo               | 1600 nm 940 nm   |
| Arseniuro de galio y Aluminio (AlGaAs) | Rojo e infrarrojo        | 890 nm           |
| Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)     | Rojo, naranja y amarillo | 630 nm           |
| Fosfuro de galio (GaP)                 | Verde                    | 555 nm           |
| Nitruro de galio (GaN)                 | Verde                    | 525 nm           |
| Seleniuro de zinc (ZnSe)               | Azul                     | 450 nm           |
| Nitruro de galio e indio (InGaN)       | Azul                     |                  |

El LED se utiliza en aplicaciones de cortas distancias y bajas velocidades, por ejemplo, en redes LAN de baja velocidad su ancho espectral es muy grande, aproximadamente 100 nm.

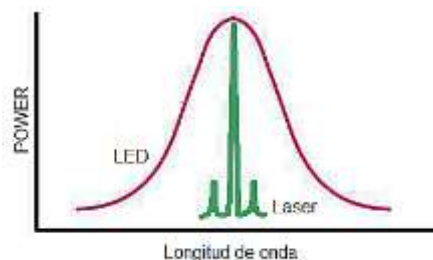


Figura 1.14 LED VS LASER.

### 1.7 Ley de SNELL

La reflexión o refracción de un haz de luz depende del ángulo de incidencia ( $\theta_i$ ) y del índice de refracción de los materiales. Sirve para relacionar la dirección de los



rayos incidente y refractado con los índices de refracción ( $n$ ) de los medios en que se mueven.

Los ángulos de incidencia ( $\theta_i$ ) y de refracción ( $\theta_t$ ) son directamente proporcionales a los medios contrarios a donde ocurren, es decir,  $\theta_i$  es a  $n_2$  como  $\theta_t$  es a  $n_1$ .

$$n_1 \text{ sen}\theta_i = n_2 \text{ sen}\theta_t ; \quad \frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_t} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Donde:

$n_1$  = Índice del refracción del material 1

$n_2$  = Índice del refracción del material 2

$\theta_i$  = Ángulo de incidencia

$\theta_t$  = Ángulo de refracción

Si el ángulo del rayo incidente está muy cercano a  $0^\circ$  el ángulo de salida solo se reflejará y no se refractará y si esta cercano a  $90^\circ$  el rayo de salida no se reflejará. Es importante señalar que cuando se introduce un rayo en una Fibra Óptica el rayo de entrada no debe estar cercano a los  $90^\circ$  o al los  $0^\circ$  ya que el rayo, como no se reflejará tampoco se refractará, se perderá en la superficie del material o saldrá de este. Al ángulo límite de entrada del rayo se le conoce como ángulo crítico de incidencia. A través de la diferencia del índice de refracción de dos materiales es posible que, al incidirle un rayo de luz a un plano del material más denso a determinado ángulo, se pueda mantener el rayo refractado en el plano frontera.(Figura 1.15).

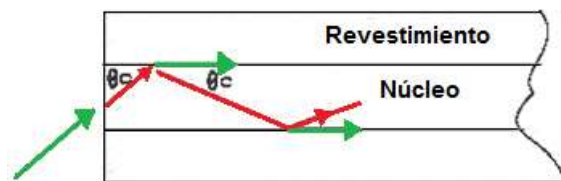


Figura 1.15 Rayo refractado en la frontera.

## 1.8 Reflexión de Fresnel

La reflexión de Fresnel ocurre en cualquier frontera de un medio donde cambie el índice de refracción, causando que una parte de los rayos incidentes sean reflejados al primer medio.

Cuando una onda electromagnética que se desplaza por un medio caracterizado por un índice de refracción  $n_1$ , incide sobre la interfase con otro medio que posee un índice de refracción  $n_2$ , una parte de la onda se refleja y otra porción se transmite al otro medio.

Las fórmulas de Fresnel dan una descripción completa y detallada del comportamiento de la onda, tanto en la que se refleja como en la que se transmite al segundo medio.

La fracción de la intensidad de la luz incidente que es reflejada en la interfase es determinada por el **coeficiente de reflexión**  $R$ , y la fracción refractada es determinada mediante el **coeficiente de transmisión**  $T$ .

Las ecuaciones de Fresnel asumen que los dos materiales son paramagnéticos, es decir, poseen una permeabilidad magnética similar a la del vacío. De esta forma, las ecuaciones se pueden usar para calcular  $R$  y  $T$ . El cálculo depende de la polarización del rayo incidente.

- Si la luz está polarizada en la dirección del campo eléctrico, perpendicular al plano del diagrama, **polarizada en s**, el coeficiente de la reflexión viene dado por

$$R_s = \left[ \frac{\text{sen}(\theta_t - \theta_i)}{\text{sen}(\theta_t + \theta_i)} \right]^2 = \left[ \frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right]^2 \quad (6)$$

Donde  $\theta_t$  se obtiene de  $\theta_i$  por la Ley de Snell.

- Si el rayo está polarizado en paralelo al plano del diagrama, **polarizado en p**, R viene dado por:

$$R_p = \left[ \frac{\tan(\theta_t - \theta_i)}{\tan(\theta_t + \theta_i)} \right]^2 = \left[ \frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \right]^2 \quad (7)$$

EL coeficiente de transmisión en cada caso está dado por:

$$T_s = 1 - R_s \quad (8)$$

$$T_p = 1 - R_p \quad (9)$$

- **Onda no polarizada**

Si la luz no está polarizada, el coeficiente de reflexión es:

$$R = \frac{R_s + R_p}{2} \quad (10)$$

Los coeficientes de reflexión y transmisión representan los ratios de intensidad incidente que se reflejan y transmiten respectivamente. Para un  $n_1$  y un  $n_2$  dados, existe un ángulo característico para el cual el valor de  $R_p$  se hace cero, y una onda incidente, polarizada en P, es totalmente refractada. Este ángulo es conocido como Angulo de Brewster<sup>3</sup>. Para el vidrio y el aire (o vacío) el valor del Angulo de Brewster está alrededor de los 56°.

---

<sup>3</sup> En física óptica, el **ángulo de Brewster** (nombrado en honor al físico escocés Sir David Brewster) corresponde al ángulo de incidencia de luz sobre una superficie que anula la componente con polarización paralela al plano de incidencia. El resultado cuando se aplica un rayo de luz no polarizada sobre una superficie bajo el ángulo de Brewster es la obtención de un rayo reflejado de luz polarizada en una dirección (cuyo vector de polarización es perpendicular al plano de incidencia). [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo\\_de\\_Brewster](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_de_Brewster). Página recuperada, Mayo 1 de 2013

En el caso en que se pasa de un medio de mayor densidad a otro menor ( $n_1 > n_2$ ), según se va aumentando el ángulo de incidencia, se llega a un punto en que toda la luz es reflejada. (Figura 1.16)

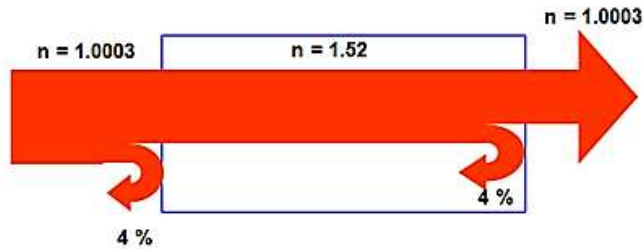


Figura 1.16 Reflexión de Fresnel.

### 1.9 Dispersión de Rayleigh

Cuando la luz se propaga a través de un material no completamente homogéneo (“turbio”), se puede ver en otras direcciones distintas a la de propagación. Este fenómeno es llamado dispersión de Rayleigh, se debe a la existencia de pequeñas partículas y zonas no homogéneas las cuales al ser iluminadas emiten luz en todas direcciones. La luz emitida es llamada luz de Tyndall.

El grado de dispersión de Rayleigh que sufre un rayo de luz depende del tamaño de las partículas y de la longitud de onda. En concreto, del coeficiente de dispersión y por lo tanto la intensidad de la luz dispersada depende inversamente de la cuarta potencia de la longitud de onda, relación conocida como Ley de Rayleigh.

La dispersión de luz por partículas mayores a un décimo de la longitud de onda se explica con la teoría de Mie, que es una explicación más general de la difusión de radiación electromagnética.

La intensidad  $I$  de la luz dispersada por una pequeña partícula en un haz de luz de longitud de onda  $\lambda$  e intensidad  $I_0$  viene dada por:

$$\sigma_s = \frac{2\pi^5 d^6}{3 \lambda^4} \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \quad (11)$$

El coeficiente de dispersión de Rayleigh para un grupo de partículas es el número de partículas por unidad de volumen, N veces la sección transversal.

Como en todos los efectos de onda, en la dispersión incoherente las potencias son sumadas aritméticamente, mientras que en la dispersión coherente, como sucede cuando las partículas están muy cerca unas de otras, los campos son sumados aritméticamente y la suma debe ser elevada al cuadrado, para obtener la potencia final.

- **Perdidas por dispersión de Rayleigh.** En la fabricación, cuando el vidrio está en estado plástico, la tensión aplicada al mismo causa que en él se desarrollen irregularidades submicroscópicas que se forman de manera permanente. Cuando los rayos viajan en la fibra y chocan con una de estas irregularidades la luz se difracta. La difracción causa que la luz se disperse o se reparta en muchas direcciones. Una parte de la luz difractada continua por la fibra y parte de esta se escapa por la cubierta.

## 1.10 Fibra óptica

Una fibra óptica se puede definir de forma simple como una guía de onda compuesta por un núcleo (core), un revestimiento (cladding) y rodeada de una cubierta protectora (coating). La función de la fibra óptica es la conducción de una señal luminosa generada por un láser o un LED.

En los sistemas ópticos se usan exclusivamente fuentes láser. La potencia del láser o LED es de 1 Watt. Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de Silicio y Germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor.

### 1.10.1 Funcionamiento de la fibra óptica

El funcionamiento de la fibra óptica consiste en que el haz de luz siempre será reflejado en la superficie de separación entre el núcleo y el revestimiento. De esta manera se puede guiar la luz de forma controlada, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, mayor será la reflexión interna.

Existen dos modos de propagación de la luz en las fibras ópticas utilizadas en Telecomunicaciones. (Figura 1.17).

- Monomodo
- Multimodo

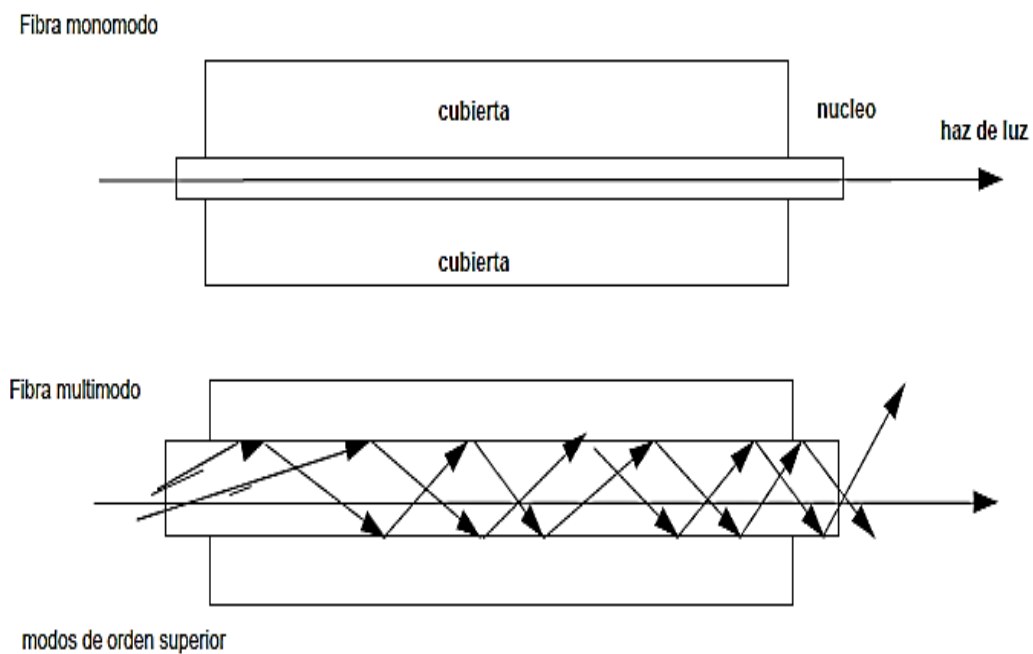


Figura 1.17 Fibra monomodo y multimodo.

### 1.10.2 Fibra Monomodo

La fibra Monomodo es aquella que por su diseño puede guiar y transmitir una sola señal de luz (un modo de propagación), como se muestra en la Figura 1.18.

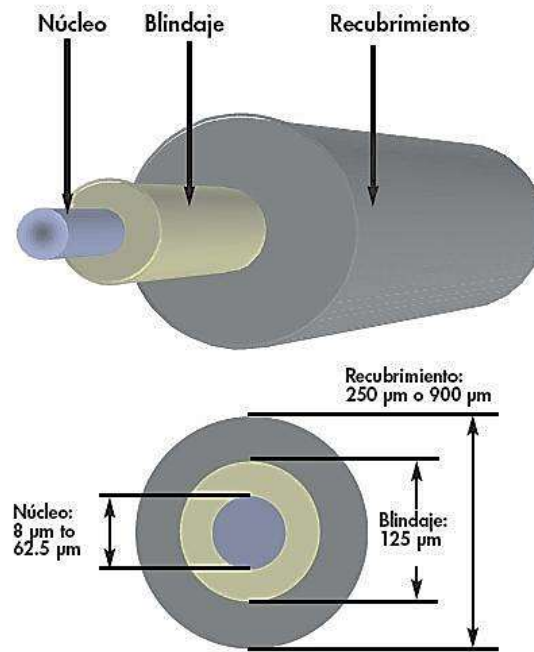


Figura 1.18 Estructura de una fibra óptica Monomodo.

Tiene las siguientes características:

- Ancho de banda elevadísimo.
- Cuando se aplica el emisor de luz, el aprovechamiento es mínimo.
- Costo es más elevado.
- Fabricación difícil.
- Los acoples deben ser perfectos.
- Núcleo mucho menor que el de la fibra Multimodo, (para evitar la dispersión multimodal).
- Los diámetros de núcleo y cubierta típicos para estas fibras son de  $n=9\mu\text{m}$ ,  $r=125\mu\text{m}$ .
- Menor atenuación que las fibras Multimodo.
- Acoplamiento de la luz complicado.

- Tolerancias de los conectores y empalmes más estrictas.
- Se alcanzan grandes distancias.
- Transmisión de elevadas tasas de bit, (limitadas principalmente por la dispersión cromática y los efectos no lineales).

La Figura 1.19 nos muestra como la información se comporta en la fibra óptica.

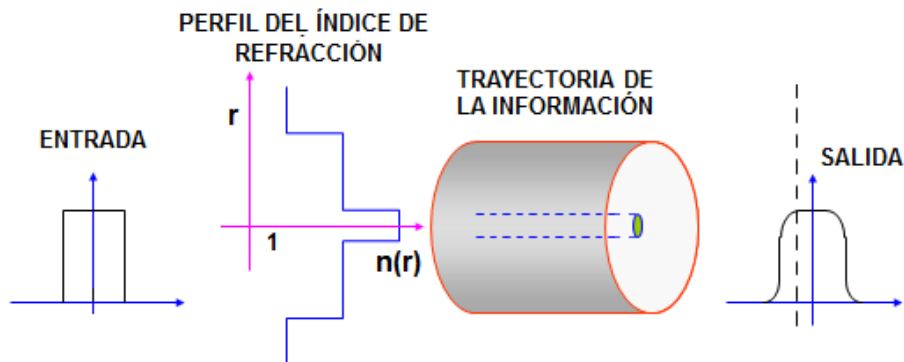


Figura 1.19 Fibra Óptica Monomodo.

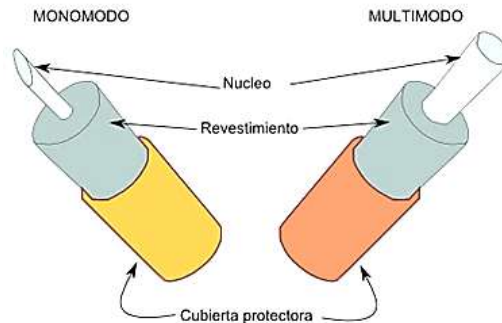
En este tipo de fibra los rayos de luz transmitidos a través de la fibra viajan linealmente y se puede considerar como el modelo más sencillo de fabricar, siendo el que se utiliza actualmente en los cables de fibra óptica instalados para las redes Troncales, Zonales y Larga Distancia.

### 1.10.3 Fibra Multimodo

En este tipo de fibra el índice de refracción del núcleo varía del más alto, hacia más bajo en el revestimiento, produciendo un efecto espiral en todo el rayo de luz. El cual describe una forma helicoidal en la medida que va avanzando en la fibra. Se utiliza principalmente para las redes locales, de T.V., redes para transmisión de datos.



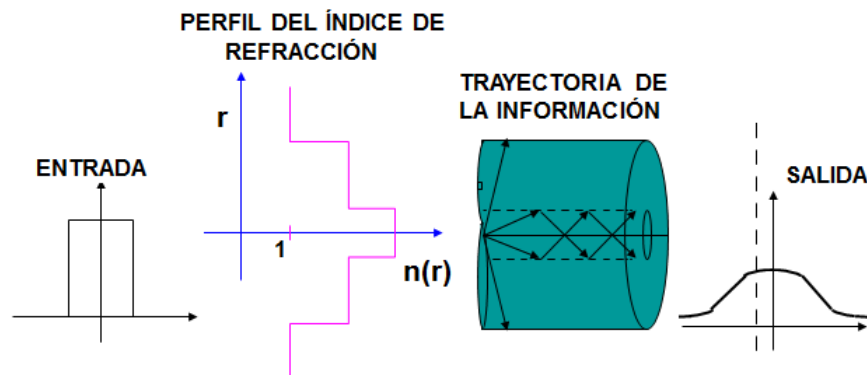
La Figura 1.20 nos muestra las diferencias entre una fibra monomodo y una multimodo principalmente en el grosor del núcleo.



**Figura 1.20. Fibra Óptica Monomodo y Fibra Óptica Multimodo.**

La fibra Multimodo es aquella que puede guiar y transmitir varias señales de luz por sucesivas reflexiones (modos de propagación). Su nombre se debe a que transporta múltiples modos de propagación de forma simultánea, ya que éste tipo de fibra se caracteriza por tener un diámetro del núcleo mucho mayor que las fibras Monomodo. El número de modos que se propagan por una fibra óptica depende de su apertura numérica o cono de aceptación de señales de luz a la entrada.

La fibra multimodo transmite la información muy diferente que la monomodo y se comporta diferente al ser entregada como se muestra en la Figura 1.21.



**Figura 1.21 Fibra Multimodo con  $n$  escalonada.**

En este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice refractivo que disminuye gradualmente con el incremento de la distancia desde el centro de la fibra. Esto tiene generalmente un diámetro de núcleo de  $50\mu\text{m}$ , como se ve en la Figura 1.22.

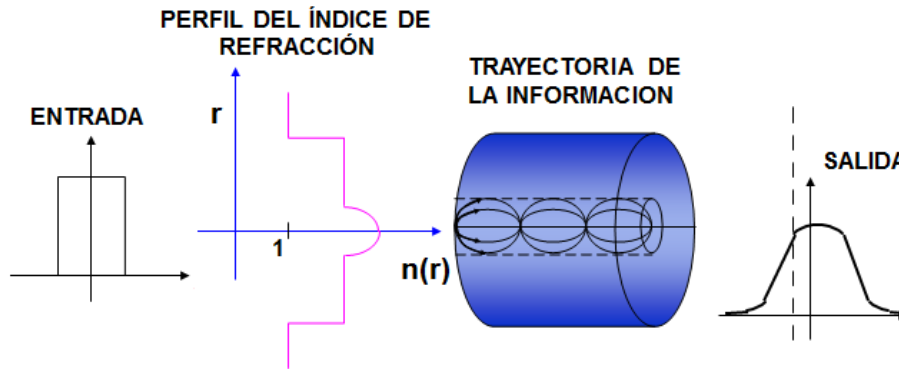


Figura 1.22 Fibra Multimodo con índice gradual

#### 1.10.4 Angulo de aceptación

El ángulo de aceptación es, el ángulo máximo medido desde el eje de la fibra para el cual la señal luminosa incidente experimenta reflexión total. (Figura 1.23)

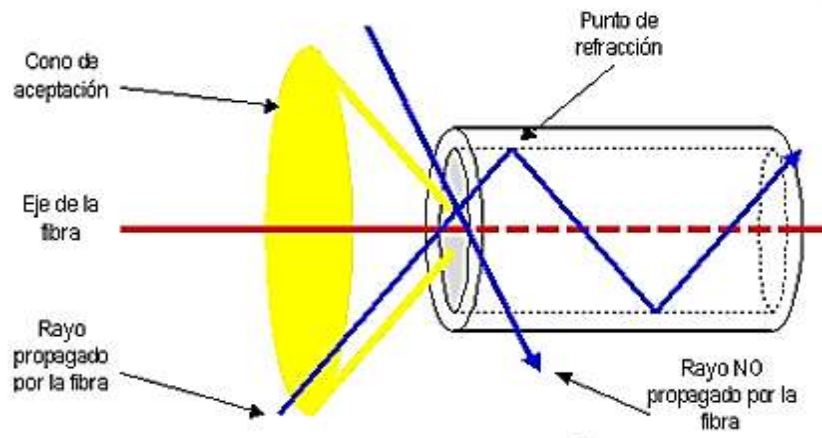


Figura 1.23 Angulo de aceptación en Fibras Ópticas.

### 1.11 Tipos de Dispersión en las fibras ópticas

La dispersión es el ensanchamiento de un pulso de luz al viajar a lo largo de la fibra óptica, limita el ancho de banda y la capacidad de enviar información a través de la fibra.

- **Dispersión cromática:** Ocasiona el ensanchamiento del pulso al pasar a través de fibra óptica.

Se debe a dos factores:

- A la variación que tiene el índice de refracción, de acuerdo con la longitud de onda transmitida. (Figura 1.24).
- A la geometría de la fibra, ya que es prácticamente imposible que el núcleo de la fibra sea perfectamente circular. (Figura 1.24).



Figura 1.24 Dispersión cromática.

- **Características de la dispersión cromática:**

La dispersión cromática presenta las siguientes características:

- La dispersión cromática es acumulativa con la distancia.
  - La dispersión cromática aumenta al incrementarse la velocidad del bit.
  - No se afecta con un incremento del número de canales.
  - No se afecta con la disminución del espaciado de canales.
- **Dispersión del modo de polarización (PMD):** Las fibras Monomodo convencionales soportan dos modos simultáneamente que se corresponden a las dos polarizaciones ortogonales del mismo modo.

En una fibra ideal las dos polarizaciones se propagarían a la misma velocidad de fase, pero en la realidad cualquier asimetría, curvatura o

torsión hace que las dos polarizaciones se propaguen a diferente velocidad. Además se produce también acoplamiento energético entre las dos polarizaciones. (Figura 1.25).

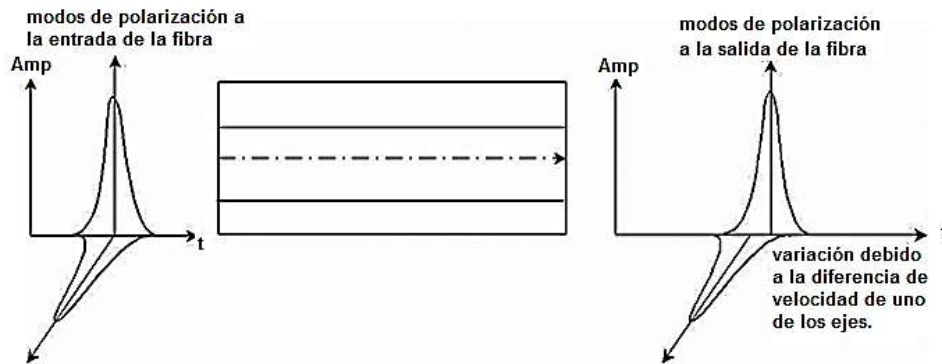


Figura 1.25 Dispersión del modo de polarización.

Puesto que ambos modos se propagan con diferentes velocidades de fase, el estado de polarización de la luz a la salida va a cambiar de forma aleatoria.

Esto es un grave inconveniente en dispositivos o partes del sistema sensibles a la polarización.

El PMD es un fenómeno crítico que limita la velocidad de transmisión.

A mayor velocidad transportada, el ensanchamiento del pulso es mayor en el receptor y se produce una alta tasa de errores como se muestra en la Figura 1.26.

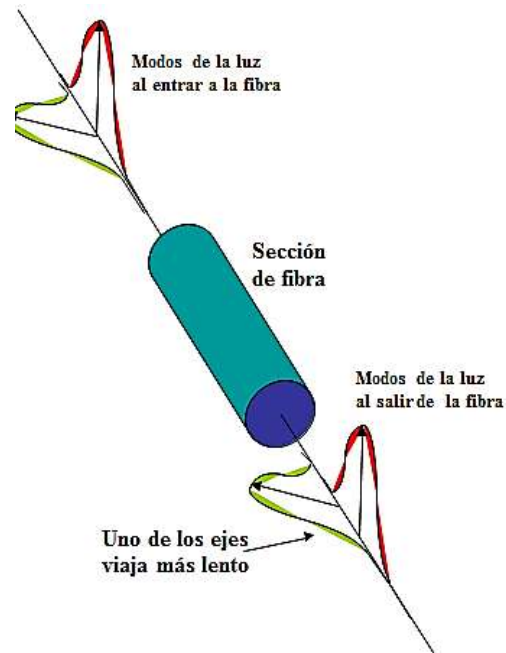


Figura 1.26 Dispersión por polarización de modo en una fibra Monomodo asimétrica

- **Causas del PMD:** Las causas que ocasionan el PMD son los esfuerzos en el núcleo de la fibra debido a:
  - La construcción de la fibra.
  - Núcleo elíptico de la fibra en algunos tramos.
  - Material del núcleo no homogéneo.
- **Dispersión de modo:** Se debe a que los diversos modos que se propagan en la fibra óptica, en diferentes trayectorias, arriban al otro extremo en diferentes tiempos. Por lo tanto, este tipo de dispersión es la más importante en fibras Multimodo y no existe en las fibras ópticas Monomodo.
- **Dispersión por guía de onda:** Cuando un rayo de luz se transmite por una fibra óptica con diferentes índices de refracción en su núcleo, la longitud de onda o las longitudes de onda de dicho rayo experimentan un cambio de velocidad según el lugar donde viajen en la fibra. Esto provoca también un retardo de grupo o que los pulsos lleguen al otro extremo de la fibra

distorsionados (atenuados y ensanchados, debido a que los componentes del rayo llegan a diferentes tiempos).

Actualmente en la construcción de enlaces con cables de fibra óptica se han utilizando con los siguientes tipos de dispersión:

- **Dispersión normal:** La fibra óptica de dispersión normal es diseñada para operar en la región de 1300 nm. La longitud de onda de dispersión cero ( $\lambda_0$ ) debe estar entre 1300 y 1322 nm; en esta región la capacidad de transmitir información sobre la fibra es máxima.

La fibra óptica unimodo de dispersión normal tiene las características señaladas en la tabla siguiente (Tabla 1.8).

Tabla 1.8. Parámetros de dispersión normal.

| Tipo  | Parámetros  |
|---|---|
| Atenuación                                    | $\leq 0.4 \text{ dB/Km} @ 1300-1310 \text{ nm}$<br>$\leq 0.3 \text{ dB/Km} @ 1550 \text{ nm}$ |
| Longitud de onda de corte de fibra            | $1190 \text{ nm} \leq \lambda_c \leq 1330 \text{ nm}$   |
| Diámetro del modo propagación                 | $9.30 \pm 0.5 \text{ nm} @ 1300 \text{ nm}$   |
| Longitud de onda de dispersión cero           | $1301.5 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1321.5 \text{ nm}$                                     |
| Diámetro del núcleo("core diameter")          | 8.3nm   |
| Diámetro del revestimiento("cladding")        | $125.0 \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$   |
| No circularidad del revestimiento             | <1%   |
| Diámetro de protección primaria               | $245 \pm 10 \text{ nm}$   |
| Concentricidad de la protección primaria      | $\geq 0.70$   |
| Índice de refracción de grupo efectivo (Neff) | 1.470 @ 1300nm<br>1.470 @ 1550nm  |
| Parámetro de resistencia a la fatiga          | >20   |

- **Dispersión corrida:** La fibra óptica de dispersión corrida es diseñada para operar en la región de 1550 nm. La longitud de onda de dispersión cero ( $\lambda_0$ ) debe estar en 1550 nm, estando en esta región el punto de atenuación mínima.
- **Dispersión corrida No Zero:** La fibra óptica de dispersión corrida no zero es optimizada para operar con sistemas de canales múltiples de alta

velocidad a largas distancias en la región de 1550 nm. Permite eliminar efectos no lineales en la transmisión asegurando una dispersión no zero en el rango de operación de 1530 a 1560 nm.

- **Dispersión NZDS-LEAF:** Es la segunda generación de fibra de dispersión corrida no zero, fue diseñada para operar en la banda C (1530-1565nm) y L (1565-1625nm). Está optimizada para utilizarse en sistemas de alta velocidad hasta 10 Gbps en la actualidad.

### 1.12 Ventanas de Operación

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las siguientes longitudes de onda ( $\lambda$ ), expresadas en nanómetros:

- **Primera ventana 800: a 900 nm, ( $\lambda$ ) más utilizada = 850 nm**
- **Segunda ventana 1250: a 1350 nm, ( $\lambda$ ) más utilizada = 1310 nm**
- **Tercera ventana 1500: a 1600 nm, ( $\lambda$ ) más utilizada= 1550 nm**

Se utilizarán para el proyecto de fibra a la casa las siguientes longitudes de onda: 1490 nm y 1625 nm para proporcionar el servicio, mientras que la medición se realizará en otras longitudes.

Se emplearán dos tipos de fibra óptica para el proyecto de fibra óptica pasiva.

- **Para la red principal y secundaria, el tipo G652**
- **Para el bajante y red interior del cliente, el tipo G657**

Las fibras operan dentro de un amplio intervalo de frecuencias de luz, las longitudes de onda más comunes son 850 nm, 1310 nm, y 1550 nm. En estas longitudes, las fibras presentan una atenuación mínima, como se puede observar en las siguientes Figuras. (Figura 1.27 y Figura 1.28).

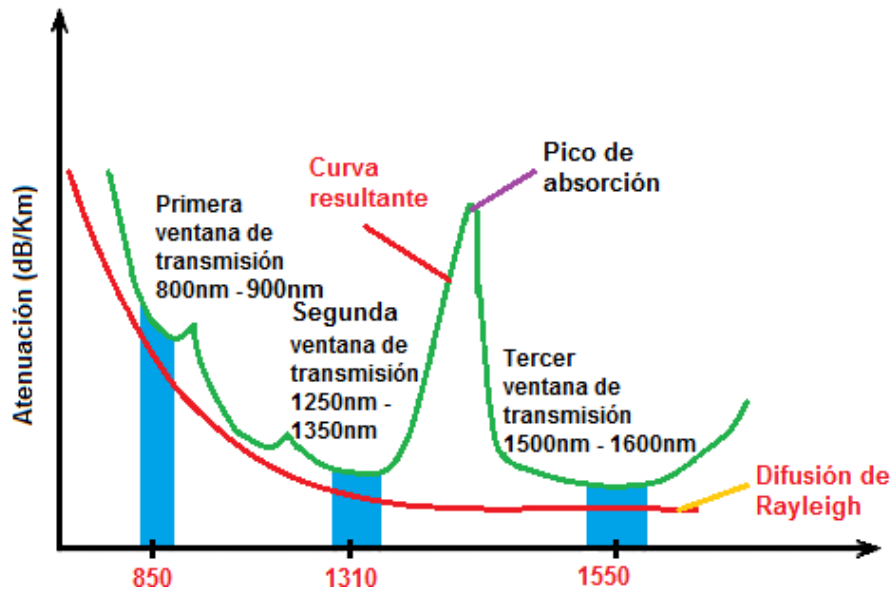


Figura 1.27 Grafica de atenuación vs longitud de onda.

Hay una cuarta ventana en desarrollo, de 1625 nm.

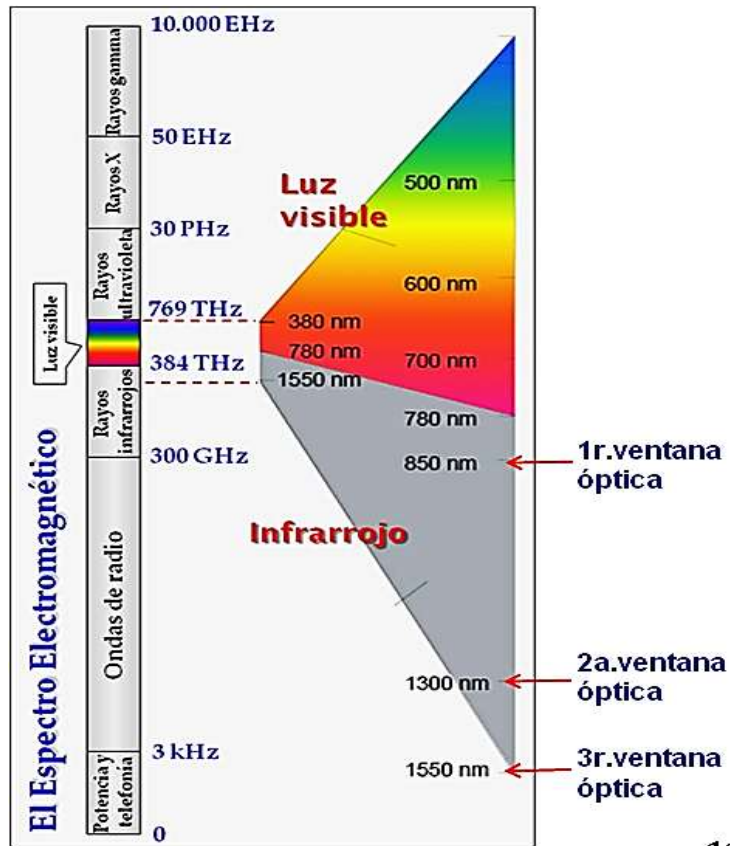


Figura 1.28 Rango de ventanas de operación.



### **1.13 Pérdidas en las fibras**

Las pérdidas de transmisión en los cables de fibras ópticas se deben a varios factores. Es importante conocer algunas causas ya que estas provocan que la señal de luz se atenúe, la velocidad de transmisión se vea limitada y en general la eficiencia de la fibra se vea afectada.

#### **Factores intrínsecos:**

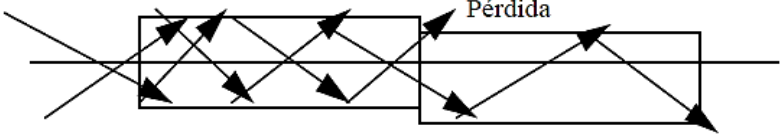
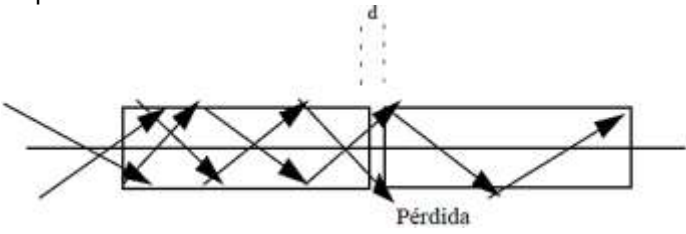
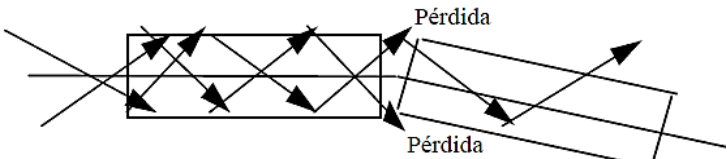
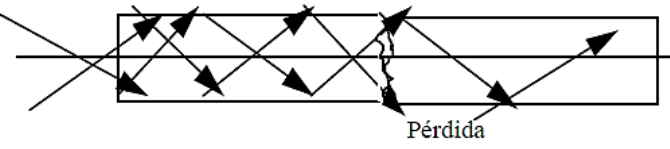
- Parte de la luz que se refleja en la frontera del núcleo y el revestimiento se pierde.
- Parte de la luz es absorbida por los materiales con los que está construida la fibra.
- Parte de la luz se pierde por la reflexión de impurezas o defectos de los materiales de la fibra.
- Parte de la energía se pierde al traspasar el revestimiento, debido a que la luz se dispersa en todas direcciones.
- Parte de la luz se dispersa de la fibra hacia la fuente.

#### **Factores extrínsecos:**

- Cuando la fibra óptica está curvada con un radio pequeño, algunos rayos chocan en la frontera entre núcleo y revestimiento a un ángulo mayor que el ángulo crítico y se pierde algo de energía de luz.
- Cuando la fibra es acoplada a otra fibra o a un equipo y ésta unión no es perfecta.

La Tabla 1.9 que se encuentra en la página siguiente explica los factores extrínsecos mencionados anteriormente.

Tabla 1.9 Pérdidas en las fibras por acoplamiento.

| Pérdida por   | Descripción   |
|---|---|
| Acoplamiento  | <p>Se producen en las conexiones de fuente a fibra, empalmes de fibra a fibra y conexiones de fibra a detector. estas conexiones o empalmes son:</p> <p><i>Mala alineación lateral:</i> es cuando hay desplazamiento axial.</p> |
|   |   |
|   | <p><i>Mala alineación de la separación:</i> Cuando se empalman o se conectan y quedan separadas las fibras:</p>   |
|   |   |
|   | <p><i>Mala alineación angular:</i> Si el desplazamiento angular es mayor a 2 grados:</p>  |
|                         |   |
| <p><i>Acabado de superficie imperfecta.</i> Las puntas de las fibras en un empalme deben estar pulidas.</p> |   |
|                         |   |

- **Pérdida total de fibra**

El resultado total de pérdida de señal que ocurre por todos los fenómenos explicados (Tabla 1.9), puede ser representado en una gráfica de pérdida contra longitud de onda. (Figura 1.29).

## Pérdida Total o atenuación en una fibra Óptica

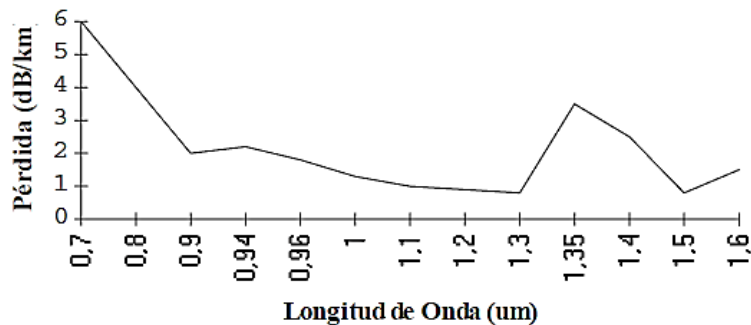


Figura 1.29 Grafica de perdidas totales en las fibras ópticas.

Observe que en 1300 nm y 1500 nm la atenuación de la fibra es menor, por lo tanto debe operar en estas longitudes de onda. Los sistemas de comunicaciones por fibras ópticas operan en 1310 nm y 1550 nm, ya que son los puntos donde opera la fibra con menor pérdida.

- **Pérdida por Evento.** La distancia máxima alcanzable está determinada por:
  - La potencia transmitida por los equipos (Launch Power). En general depende del tipo de equipo, clasificándose éstos en 4 clases: (A, B, C, D), en función de dicha potencia. Un valor típico de éste parámetro para equipos clase B es entre +3 a +7 dBm.
  - La sensibilidad en recepción de los equipos, es decir, la mínima potencia de señal que es capaz de reconocer correctamente. Un valor típico para esta es -26dBm.
  - La pérdida de inserción introducida por el cable de fibra óptica, ésta dependerá de la longitud de onda a utilizar, para las usadas en estas tecnologías PON esta pérdida es de 0.40dB/km para una longitud de onda de 1310nm y de 0.35dB/km para 1490nm.
  - Pérdida introducida por los splitters, típicamente es de 10.5 dB aproximadamente.

- Pérdida introducida por los conectores, típicamente esta es de 0.5dB aproximadamente.
- Pérdida introducida por cada empalme, esta depende de qué tipo de empalme se trate. Un empalme mecánico introducirá típicamente una pérdida aproximada de 0.5dB, mientras que en el caso de uno por fusión será de aproximadamente 0.08dB.

### **1.14 Tipos de cable de Fibra Óptica Pasiva**

El conocimiento de la estructura e identificación de los cables y las fibras ópticas dentro de los tubos holgados es indispensable para los procesos de instalación y mantenimiento de redes ópticas, puesto que es necesario para su empalme y difusión.

Las necesidades y circunstancias que actualmente prevalecen en el ámbito de las telecomunicaciones requieren el proporcionar a sus clientes un servicio continuo y de calidad. Para garantizar la continuidad y la calidad del servicio es necesario desarrollar métodos y procedimientos mediante los cuales los tiempos de reparación, al presentarse algún daño, se minimicen, tratando de optimizar, al mismo tiempo, los recursos humanos y materiales disponibles.

En la actualidad se fabrican una amplia variedad de cables ópticos con diferentes tipos de estructuras, de acuerdo a su uso y condiciones de operación. Para lo cual es necesario conocer sus características, su correcta aplicación y manejo, tanto en su instalación como en la elaboración de empalmes.

Así mismo, las fibras y los tubos holgados de un cable de fibra óptica, son fabricados en diferentes colores, de acuerdo a un código que permite su identificación.

### 1.14.1 Clasificación de los cables de Fibra Óptica

En los enlaces de fibra óptica se utilizan diversos tipos de cable, los cuales cada uno tiene sus características dependiendo del uso que se requiera, según sea su instalación: en canalización o ductos, aérea, directamente enterrado o en interiores. Para lo cual es necesario conocer la estructura y características para su correcta aplicación. Los nombres de la redes cambian de acuerdo a su ubicación.

A continuación en la Tabla 1.10 se describe la función de cada una de ellas y el tipo de fibra óptica que aplica:

**Tabla 1.10. Tipos de redes en las fibras ópticas.**

| Red                                   | Descripción  | Tipo de Fibra  | Longitud de Onda  |
|---------------------------------------|--|--|---|
| <b>Red Troncal de Larga Distancia</b> | Es la red que enlaza dos centrales de servicio de larga distancia.   | Monomodo (unimodo) de dispersión corrida   | <b>1550 nm</b>  |
| <b>Red troncal local</b>              | Red que une dos centrales de servicio local en áreas urbanas.  | Monomodo de dispersión normal  | <b>1310 nm</b>  |
| <b>Red óptica flexible</b>            | Red óptica en anillo, que conecta al usuario a la red telefónica pública conmutada, a la red digital no conmutada y ofrece variedad de interfaces a diferentes velocidades (flexibilidad). Y facilidades para ampliaciones futuras.  | Monomodo de dispersión normal  | <b>1310 nm</b>  |
| <b>Red RDA</b>                        | Red digital Integrada punto a punto que conecta al usuario a la red telefónica conmutada o digital no conmutada.   | Monomodo de dispersión normal  | <b>1310 nm</b>  |
| <b>Red Zonal</b>                      | <p><b>Red para comunicar dos poblaciones dentro de la misma área. Se pueden dar los siguientes casos:</b></p> <p><b>a)</b> Sí se hace uso (se deriva) de la red LD.</p> <p><b>b)</b> Sí es una red punto a punto independiente con una longitud igual o menor a 40 km.</p> <p><b>c)</b> Sí es una red punto a punto, enlaces en configuración en anillo o enlaces en los que se conectan en serie dos o más centros de conexión de abonado o elementos de distribución de abonados (URA's, multiplexores de abonado, etc.) con longitud mayor a 40 km entre ellos.</p> | <p><b>a)</b> Monomodo de dispersión corrida</p> <p><b>b)</b> Monomodo de dispersión normal</p> <p><b>c)</b> Monomodo de dispersión corrida</p> | <p><b>1550 nm</b></p> <p><b>1310 nm</b></p> <p><b>1550 nm</b></p> |

La siguiente tabla (Tabla 1.11) muestra los tipos de cables que se utilizan en la construcción de enlaces de fibra óptica.

Tabla 1.11 Tipos de cables de enlace en la fibra óptica.

| Tipo    | Dispersión | Nº de fibras       | Uso          | Long. carrete (m) |
|---------|------------|--------------------|--------------|-------------------|
| TM-1    | Normal     | 06,12,24,36,48,72  | Canalización | 1,950 + 5 %       |
| TM-3    | Normal     | 06,12,24,36,48,72  | Interior     | 500 – 0 + 3%      |
| TM-4    | Normal     | 06,12,24           | Enterrado    | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM-5    | Corrida    | 12,24              | Aéreo        | 1,950 + 5 %       |
| TM-6    | Normal     | 06,12,24           | Aéreo        | 1,950 + 5 %       |
| TM-7    | Corrida    | 06,12,18,24,36     | Canalización | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM-7 LD | Corrida    | 18,24,36           | Canalización | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM-8    | Corrida    | 06,12,18,24,36     | Enterrado    | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM-8 LD | Corrida    | 18,24,36           | Enterrado    | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM10    | Corrida    | 06,12,18,24,36,48, | Interior     | 500 – 0 + 3%      |
| TM-11   | No Zero    | 12,18,24,36,48     | Canalización | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM-12   | No Zero    | 12,18,24,36,48     | Interior     | 500 – 0 + 3%      |
| TM-13   | Nzds-Leaf  | 12,18,24,36,48     | Canalización | 4600 – 0 + 5 %    |
| TM-14   | Nzds-Leaf  | 12,18,24,36,48     | Interior     | 500 – 0 + 3%      |
| TM-15   | Nzds-Leaf  | 12,24              | Aéreo        | 1,950 + 5 %       |
| TM-16   | Nzds-Leaf  | 06,12,18,24,36     | Enterrado    | 4600 – 0 + 5 %    |

Los cables de dispersión corrida y dispersión no Zero ya no se instalan pero aún se encuentran en existencia.

Los cables TM-7LD y 8 LD dejaron de usarse (desde 1998), ya solo se encuentran instalados en algunos enlaces de larga distancia.

- a) **Fibra G.652** La recomendación G.652 describe subtipos de la “A” a la “D”. La Tabla 1.12 siguiente describe el subtipo “D” por permitir la utilización de la fibra en las regiones de 1310 a 1550 nm y ser compatible con la G657

**Tabla 1.12 Características de fibra G652-D.**

| Atributo                            | Dato                         | Valor                         |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Diámetro del campo modal            | Longitud de onda             | 1310 nm                       |
|                                     | Gama de valores nominales    | 8.6-9.5 $\mu\text{m}$         |
|                                     | Tolerancia                   | $\pm 0.6 \mu\text{m}$         |
| Diámetro del revestimiento          | Nominal                      | 125.0 $\mu\text{m}$           |
|                                     | Tolerancia                   | $\pm 1 \mu\text{m}$           |
| Error de concentricidad del núcleo  | Máximo                       | 6.6 $\mu\text{m}$             |
| No circularidad del revestimiento   | Máximo                       | 1.0 %                         |
| Longitud de onda de corte del cable | Máximo                       | 1260 nm                       |
| Pérdida de macroflexión             | Radio                        | 300 mm                        |
|                                     | Numero de vueltas            | 100                           |
|                                     | Máximo a 1625 nm             | 0.1 dB                        |
| Prueba de tensión                   | Mínimo                       | 0.69 GPa                      |
| Coeficiente de dispersión cromática | $\lambda_{0\text{min}}$      | 1300 nm                       |
|                                     | $\lambda_{0\text{max}}$      | 1324 nm                       |
|                                     | $S_{0\text{max}}$            | 0.092 ps/nm <sup>2</sup> x km |
| <b>Atributos del cable</b>          |                              |                               |
| Coeficiente de atenuación           | Máximo de 1310 nm a 1625 nm  | 0.4 dB/Km                     |
|                                     | Máximo de 1383 nm $\pm 3$ nm | 0.4 dB/Km                     |
|                                     | Máximo a 1550 nm             | 0.3 dB/Km                     |
| Coeficiente de PMD                  | M                            | 20 cables                     |
|                                     | Q                            | 0.01 %                        |
|                                     | PMD <sub>Q</sub> máximo      | 0.20 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$   |

### b) Fibra G657

La recomendación ITU-T G.657 se deriva de la experiencia adquirida en el uso de fibra óptica basada en la recomendación UIT-T G.652 pero adecuada a las necesidades de cables en una red óptica de acceso, pues este tipo de red supone distintas exigencias que afectan la calidad de funcionamiento de las fibras.

Las características de la red de acceso son:

- Alta densidad de distribución.
- Cables de derivación en la red de acceso.
- Limitaciones de espacio.
- Numerosas manipulaciones.

Para soportar estas características, la fibra debe ser fácil de manipular y poco sensible a la flexión y adecuarse a espacios reducidos. Las fibras G.657-A son adecuadas para su utilización a lo largo de la gama de 1260 nm. a 1625 nm. En la Tabla 1.13 se muestran dichas características.

**Tabla 1.13 Características de Fibra G657**

| Atributo                            | Dato                         | Valor                         |      |        |     |     |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------|--------|-----|-----|
| Diámetro del campo modal            | Longitud de onda             | 1310 nm                       |      |        |     |     |
|                                     | Gama de valores nominales    | 8.6-9.5 $\mu\text{m}$         |      |        |     |     |
|                                     | Tolerancia                   | $\pm 0.4 \mu\text{m}$         |      |        |     |     |
| Diámetro del revestimiento          | Nominal                      | 125.0 $\mu\text{m}$           |      |        |     |     |
|                                     | Tolerancia                   | $\pm 0.7 \mu\text{m}$         |      |        |     |     |
| Error de concentricidad del núcleo  | Máximo                       | 0.5 $\mu\text{m}$             |      |        |     |     |
| No circularidad del revestimiento   | Máximo                       | 1.0 %                         |      |        |     |     |
| Longitud de onda de corte del cable | Máximo                       | 1260 nm                       |      |        |     |     |
| Perdida de macroflexión             |                              | G657A1                        |      | G657A2 |     |     |
|                                     | Radio (milímetros)           | 15                            | 10   | 15     | 10  | 7.5 |
|                                     | Numero de vueltas            | 10                            | 1    | 10     | 1   | 1   |
|                                     | Máximo a 1550 nm (dB)        | 0.25                          | 0.75 | 0.03   | 0.1 | 0.5 |
|                                     | Máximo a 1625 nm (dB)        | 1.0                           | 1.5  | 0.1    | 0.2 | 1.0 |
| Prueba de tensión                   | Mínimo                       | 0.69 GPa                      |      |        |     |     |
| Coeficiente de dispersión cromática | $\lambda_{0\text{min}}$      | 1300 nm                       |      |        |     |     |
|                                     | $\lambda_{0\text{max}}$      | 1324 nm                       |      |        |     |     |
|                                     | $S_{0\text{max}}$            | 0.092 ps/nm <sup>2</sup> x km |      |        |     |     |
| Coeficiente de atenuación           | Máximo de 1310 nm a 1625 nm  | 0.4 dB/Km                     |      |        |     |     |
|                                     | Máximo de 1383 nm $\pm 3$ nm | 0.4 dB/Km                     |      |        |     |     |
|                                     | Máximo a 1550 nm             | 0.3 dB/Km                     |      |        |     |     |
| Coeficiente de PMD                  | M                            | 20 cables                     |      |        |     |     |
|                                     | Q                            | 0.01 %                        |      |        |     |     |
|                                     | PMD <sub>Q</sub> máximo      | s/ $\sqrt{\text{Km}}$         |      |        |     |     |

### 1.14.2 Estructura de los cables

Actualmente se fabrican una amplia variedad de cables ópticos con diferentes tipos de estructuras, de acuerdo a su uso y condiciones de operación.

Para la instalación del cable de fibra óptica se deben considerar, el lugar y las condiciones ambientales del lugar para decidir como se va a instalar, estas pueden ser:



- Aéreo
- Enterrado
- Conducido por ducto
- Bajo el agua.

Los factores a considerar en la construcción de cables de fibra óptica son los tipos de fuerzas a los que expuesto durante la manufactura, instalación y operación, como se muestra en la Figura 1.30

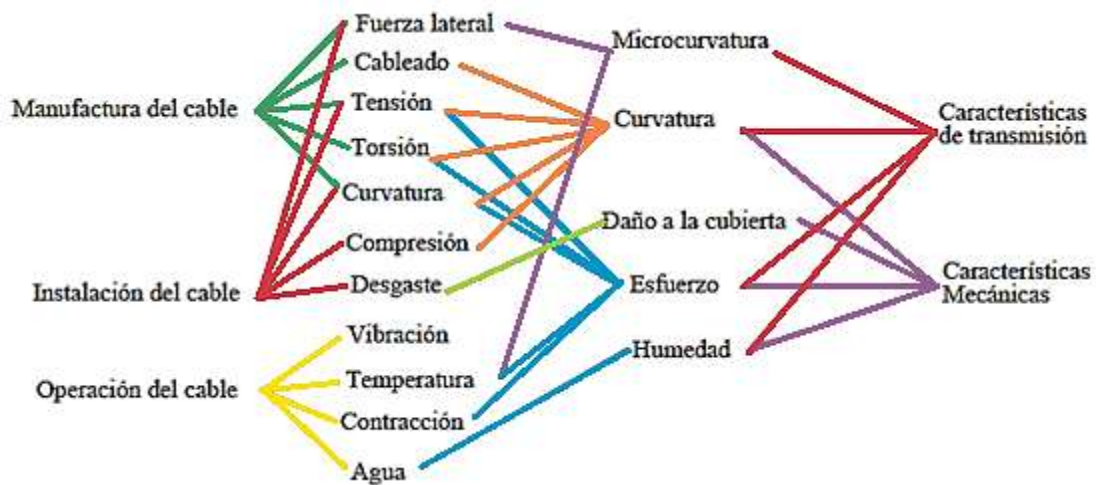


Figura1.30 Estructura básica de los cables.

### a) Microcurvatura

En una fibra es causada por fuerzas laterales localizadas a lo largo de ella. Esto es provocado por esfuerzos durante la manufactura e instalación y también la variación dimensional de materiales del cable, debido a cambios de temperatura. La sensibilidad a la Microcurvatura es función de la diferencia del índice de refracción, así como también de los diámetros del núcleo y del revestimiento.

La Microcurvatura incrementa las pérdidas ópticas. Para reducir estas pérdidas, el cable debe proteger a la fibra de fuerzas laterales que la doblen.

## b) Elementos de tensión

Existen básicamente dos tipos de construcciones que se emplean:

- Elemento central de tensión (ECT).
- Elemento exterior de tensión (EET).

La estructura del cable consiste de un miembro de tensión colocado en el centro del cable y alrededor de él se colocan las fibras de cubierta secundaria en forma helicoidal rellenándose los espacios libres con gel para darle una protección contra la humedad.(Figura 1.31).

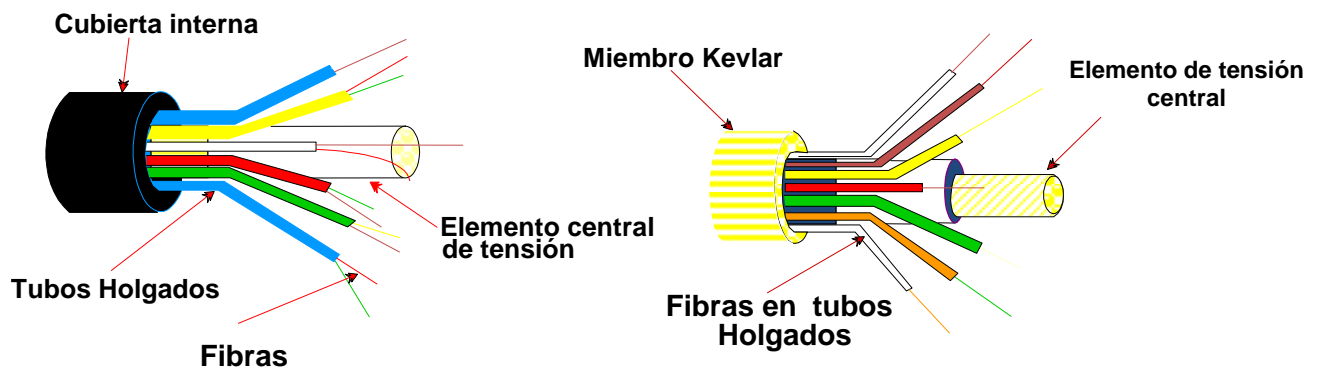


Figura 1.31 Elementos de los cables de fibra óptica.

Sobre el núcleo del cable pueden ir los demás elementos que conforman el cable específico, es decir, puede llevar una cubierta interna, una barrera contra la humedad, una armadura, algún elemento de suspensión, etc.

## c) Estructura del núcleo

Este diseño incorpora al miembro central de tensión una cubierta plástica de gran espesor con ranuras en la periferia (de 6 a 12 ranuras), que van en forma helicoidal. En estas ranuras se alojan las fibras,

estas fibras pueden ir con cubierta secundaria de tubo apretado, o bien únicamente con cubierta primaria, pudiendo ir en cada ranura más de una fibra dependiendo de la densidad de fibras que requieren en el cable. (Figura 1.32) De esta forma las fibras quedan desacopladas de los esfuerzos de tensión y tienen libertad de movimiento.

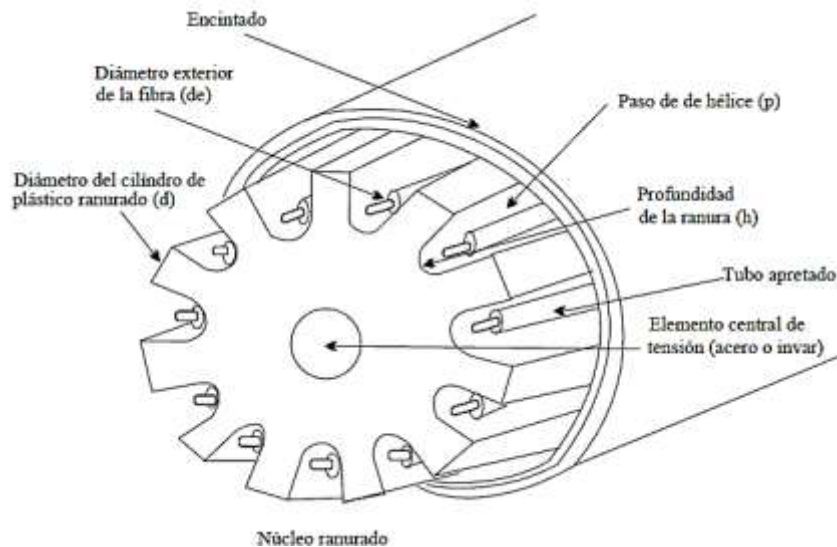


Figura 1.32 Estructura del núcleo de la fibra óptica.

#### d) Elementos de tensión exterior

Este diseño emplea un elemento de tensión externo, el cual envuelve a las fibras, pueden encontrarse reunidas por medio de una espiral de plástico, o bien, unidas a una cinta plástica formando una estructura rectangular compacta.

Las fibras ópticas pueden ir únicamente con cubierta primaria o con cubierta secundaria de tubo apretado. (Figura 1.33).

En general, este tipo de diseño se emplea cuando se requiere una muy alta densidad de fibras con dimensiones muy reducidas, o bien, se requiere una muy alta resistencia a la tensión.

También se emplea frecuentemente en los cables Mono fibra y dúplex que se usan para la interconexión a los equipos (pig tails y jumper).

Sobre el miembro de tensión externo se colocan los demás elementos que conforman el cable (cubiertas, armaduras, barreras contra la humedad, etc.).

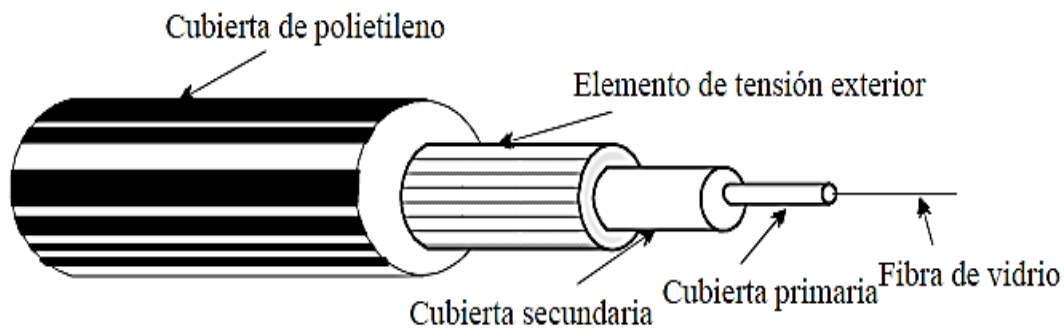


Figura 1.33 Elementos de tensión exterior para fibra óptica.

#### e) Cables para exteriores

Los cables exteriores se emplean en la llamada planta externa. Aquí existen una gran variedad de diseños caracterizándose todos ellos en contener siempre más de dos fibras. Estos contemplan todas las posibles variedades (Figura 1.34), es decir:

- Puede llevar cubierta secundaria de tubo holgado.
- Pueden ser de elemento central de tensión de núcleo ranurado, o de elemento de tensión exterior.
- Por lo regular todos llevan barreras contra la humedad que pueden ser de jelly, de cintas metálicas, o utilizando presión de gas.
- En general la cubierta externa es de polietileno con negro de humo.
- Pueden llevar o no armadura, y si la llevan son en cualquiera de sus variedades.

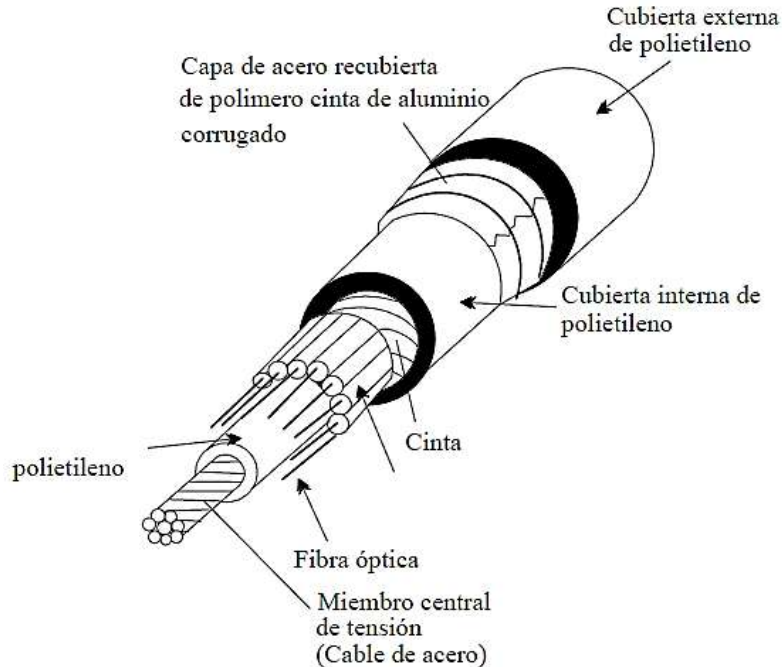


Figura 1.34 Elementos de cables para exteriores de fibra óptica.

#### f) Cables interiores

Los cables para interiores son aquellos que se utilizan dentro de los edificios, o de la llamada planta interna, en general deben tener buena flexibilidad y no ser propagadores de flama. Estos cables tienen elementos metálicos o pueden ser totalmente dieléctricos, contienen una o más fibras.

Si contiene una fibra (Mono fibra) por lo regular su construcción lleva protección secundaria de tubo apretado. Alrededor de ella lleva un miembro de tensión externo de aramida, sobre ésta lleva una cinta mylar como barrera térmica y posteriormente la cubierta externa de PVC antifuego. Cuando lleva dos fibras (dúplex) se construye con dos cables Mono fibras unidos por medio de una lengüeta en la cubierta externa.

En los cables multifibra se da una infinidad de diseños, caracterizándose todos ellos en tener la cubierta externa de PVC antifuego y no tener armadura. (Figura1.35).

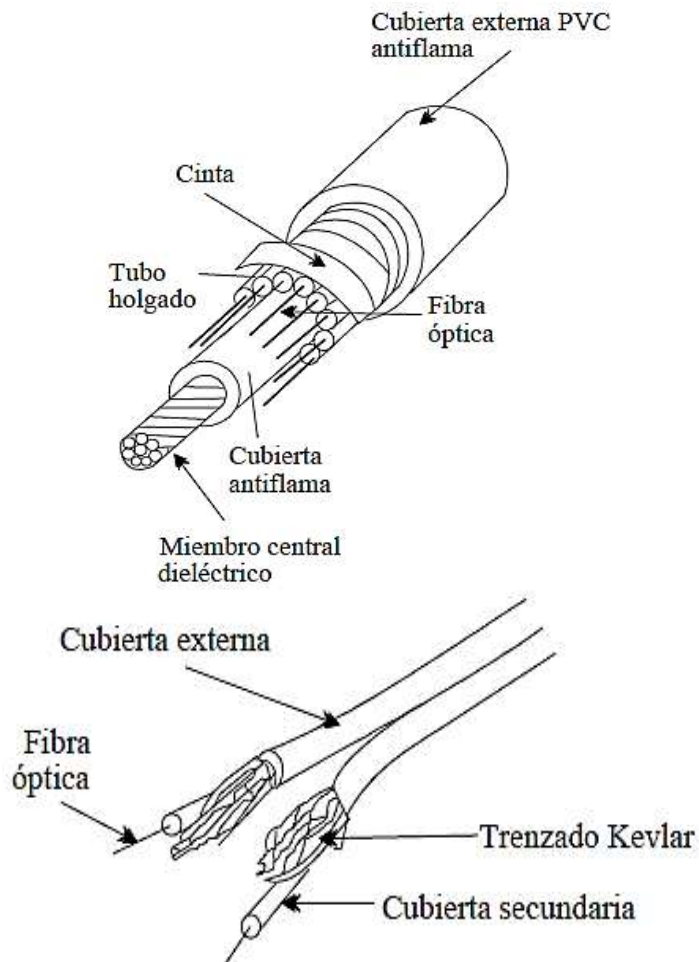


Figura 1.35 Elementos de un cable para interiores de fibra óptica.

En las siguientes Figuras se muestran los tipos de estructura de cable que se utilizan en diferentes instalaciones

### 1.14.3 Estructura del cable canalizado

La Figura 1.36 representa la estructura del cable de fibra óptica que se utiliza en canalizaciones.

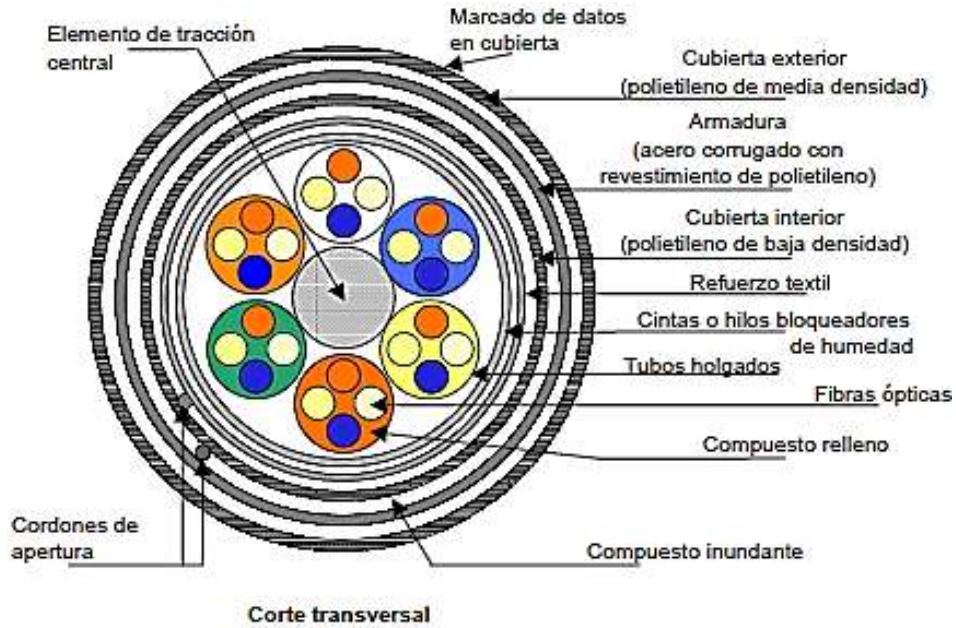
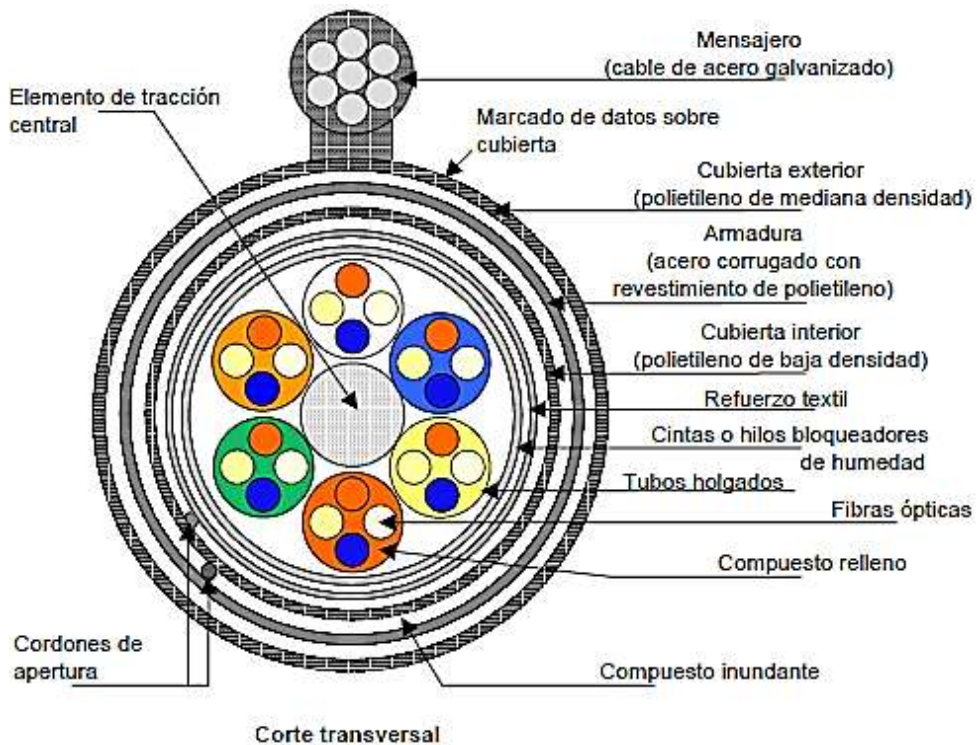


Figura 1.36 Corte Transversal de F.O. de uso en canalización.

#### 1.14.4 Estructura del cable aéreo

En la Figura 1.37 se representa la estructura del cable aéreo.



### 1.14.5

Figura 1.37 Corte Transversal de F.O. de uso en postes.

### Estructura

#### del cable enterrado

La Figura 1.38 representa la estructura del cable enterrado.

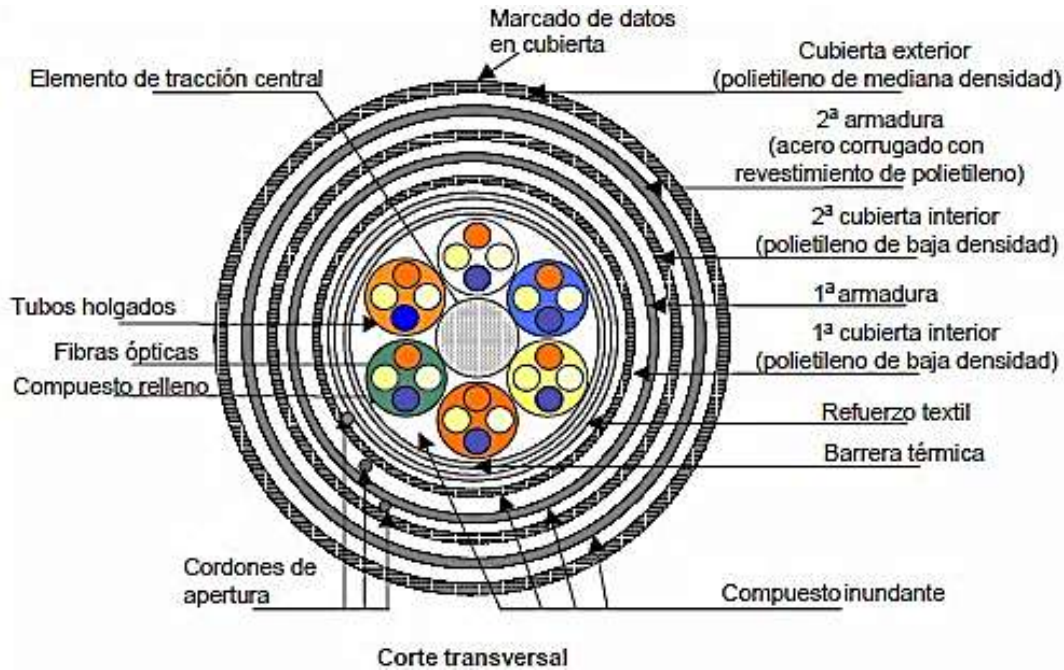


Figura 1.38. Corte Transversal de F.O. de uso enterrado.

### 1.14.6 Estructura del cable de uso interior

En la Figura 1.39 se representa la estructura del cable de uso interior

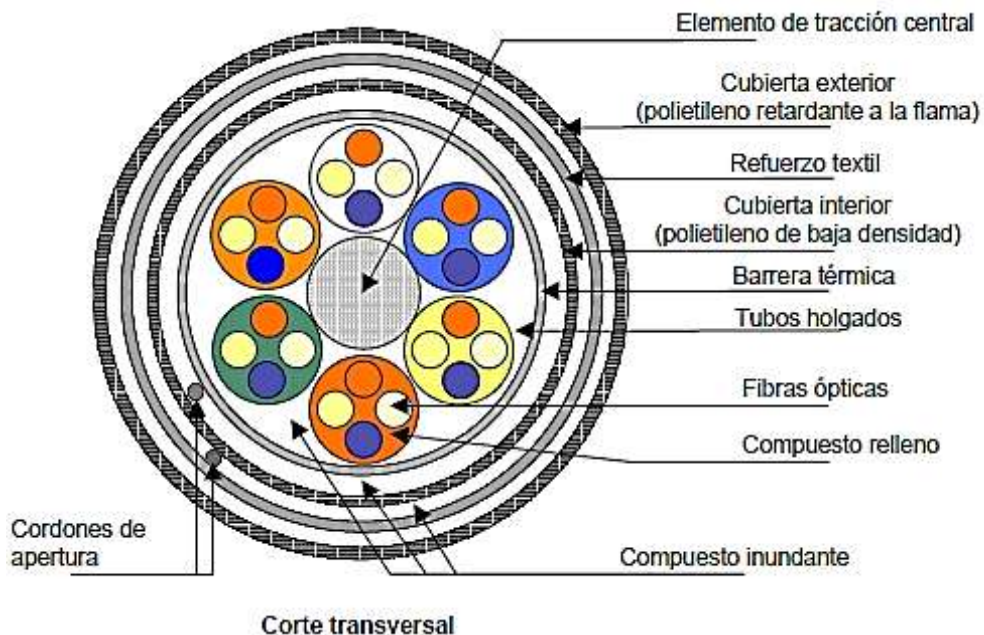


Figura 1.39 Corte Transversal de F.O. de uso interior.



### 1.14.7 Código de colores para tubos holgados

Los cables de fibra óptica cuentan con un código de colores que permite identificar la numeración, tanto de los tubos holgados como de las fibras (Figura 1.40 a). Para identificar el orden de los tubos holgados contenidos en un cable de fibra óptica, éstos vienen en 6 diferentes colores a los cuales les corresponde un número, de acuerdo a la siguiente tabla (Tabla 1.14).

Tabla 1.14. Código de colores para tubos holgados.

| No. De tubo holgado | Color    |
|---------------------|----------|
| 1                   | Blanco   |
| 2                   | Azul     |
| 3                   | Amarillo |
| 4                   | Rojo     |
| 5                   | Verde    |
| 6                   | Naranja  |

Para los cables fabricados antes de 1994 el código de colores de los tubos holgados, de los seis, dos van coloreados uno de rojo y el otro de azul, los otros cuatro son de color natural (Figura 1.40 b). El rojo se considera como piloto y el azul el sentido en el que se debe contar, siendo el rojo el tubo 1, el azul el tubo 2. Siguiendo el mismo sentido, los de color natural serán los tubos 3, 4, 5 y 6 respectivamente.

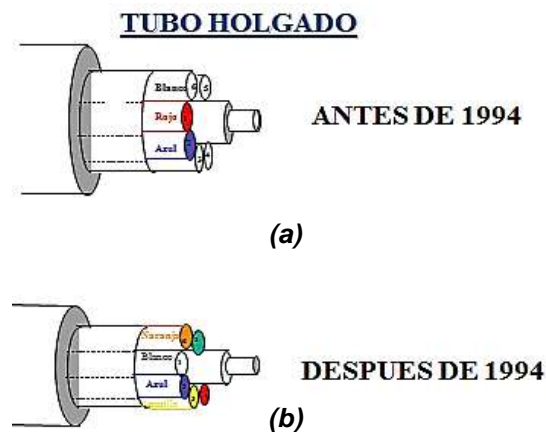


Figura 1.40 Identificación de las fibras ópticas.

**Número de fibras ópticas por tubo holgado.** Todos los cables de Fibra Óptica que se utilizan actualmente constan de 6 tubos holgados.

Se hace notar que, dependiendo de la capacidad del cable, no todos los tubos contendrán fibras ópticas, los cuales solamente vendrán de relleno.

El número de fibras ópticas por tubo dependerá de la capacidad del cable, de acuerdo a la Tabla 1.15:

**Tabla 1.15. Número de fibras para tubo holgado.**

| Capacidad del cable | N° de F.O. por tubo | Tubos ocupados | Tubos de relleno | Tubos por cable |
|---------------------|---------------------|----------------|------------------|-----------------|
| 6 F.O.              | 6                   | 1              | 5                | 6               |
| 12 F.O.             | 4                   | 3              | 3                | 6               |
| 18 F.O.             | 6                   | 3              | 3                | 6               |
| 24 F.O. (*)         | 4                   | 6              | Ninguno          | 6               |
| 36 F.O.             | 6                   | 6              | Ninguno          | 6               |
| 48 F.O.             | 12                  | 4              | 2                | 6               |
| 72 F.O.             | 12                  | 6              | ninguno          | 6               |

(\*)Únicamente en los cables Larga Distancia de 24 F. O. se presenta la siguiente variante: 6 fibras por tubo/4 tubos ocupados/ 2 de relleno.

#### **1.14.8 Código de colores para las fibras**

Para identificar el orden de las fibras contenidas en los tubos holgados, éstos vienen en 12 diferentes colores a los cuales les corresponde un número, de acuerdo a la Tabla 1.16:

**Tabla 1.16. Código de colores para las fibras.**

| No. De tubo<br>holgado | Color    |
|------------------------|----------|
| 1                      | Natural  |
| 2                      | Azul     |
| 3                      | Amarillo |
| 4                      | Rojo     |
| 5                      | Verde    |
| 6                      | Naranja  |
| 7                      | Violeta  |
| 8                      | Café     |
| 9                      | Gris     |
| 10                     | Negro    |
| 11                     | Rosa     |
| 12                     | Blanco   |

El código de colores para los cables tipo TM-7 LD y TM-8 LD es diferente al de los demás, siendo el de la siguiente tabla (Tabla 1.17) tanto para los tubos holgados como para las fibras:

**Tabla 1.17. Código de colores para tubo holgado y fibras.**

| No. De tubo<br>holgado | Color   |
|------------------------|---------|
| 1                      | Azul    |
| 2                      | Naranja |
| 3                      | Verde   |
| 4                      | Café    |
| 5                      | Gris    |
| 6                      | Blanco  |

### a) Numeración de las fibras ópticas en los tubos holgados

La numeración de las fibras ópticas dentro de los tubos holgados dependerá del número de fibras ópticas/tubo, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1.18. Número de fibras en los tubos holgados

| N° de F.O. / tubo | Tubo 1 (Blanco) | Tubo 2 (Azul) | Tubo 3 (Amarillo) | Tubo 4 (Rojo) | Tubo 5 (Verde) | Tubo 6 (Naranja) |
|-------------------|-----------------|---------------|-------------------|---------------|----------------|------------------|
| 4                 | 1 - 4           | 5 - 8         | 9 - 12            | 13 - 16       | 17 - 20        | 21 - 24          |
| 6                 | 1 - 6           | 7 - 12        | 13 - 18           | 19 - 24       | 25 - 30        | 31 - 36          |
| 12                | 1 - 12          | 13 - 24       | 25 - 36           | 37 - 48       | 49 - 60        | 61 - 72          |

### b) Identificación del número de fibra por su color

Cuando se quiera saber el número correspondiente de una determinada fibra en un cable, seguiremos lo siguiente:

- 1) Verificar de qué capacidad es el cable.
- 2) De acuerdo a la capacidad, determinar si contiene 4, 6, ó 12 fibras por tubo:
  - **4 fibras por tubo:** En cada tubo las fibras tendrán los 4 primeros colores del código **(del natural al rojo)**.
  - **6 fibras por tubo:** En cada tubo las fibras tendrán los 6 primeros colores del código **(del natural al naranja)**.
  - **12 fibras por tubo:** En cada tubo las fibras tendrán los 12 colores del código **(del natural al blanco)**.
- 3) Con el número del tubo (según color) se obtiene la numeración de las fibras contenidas en ese tubo.
- 4) Con el color de la fibra se determina el número de ésta.

### 1.15 Tipos de Conectores

Dentro de la arquitectura de fibra óptica se pueden encontrar diversos conectores de fibra óptica, necesarios para establecer un enlace óptico, Figura 1.41, que permite el alineamiento, unión temporal y repetitivo, de dos o más fibras ópticas entre sí, en las mejores condiciones ópticas posibles.



**Figura 1.41 Tipos de conectores FC y SC.**

Las diferentes aplicaciones de fibra requieren conectores para fibra Monomodo (SM) o Multimodo (MM).

Posteriormente, y para conseguir una mayor densidad de fibras en los repartidores, se desarrolló el conector SC (Subscriber Connector o Standard Connector), conformado por un cuerpo plástico con mecanismo Push-Pull para proteger la ferrule cerámica.

Por último, y principalmente por razones de densidad, contamos con los conectores ópticos de tipo SFFC (Small Form Factor Connectors), comprendidos en dos grupos:

- Los de tipo LC (Lucent Connector o Local Connector)
- Los de tipo ferrule multifibra: MT-RJ, Volition (3M), Fiber Jack (Panduit) MP, que permiten alojar dos o más fibras en una ferrule única Figura 1.42.



Figura 1.42 Conectores de fibra óptica.

- **Conectores LC.** Desarrollados en 1997 por Lucent Technologies, los conectores LC, Figura 1.43 pertenecen a la familia de los Small Form Factor Connectors, tienen un aspecto exterior similar a un pequeño SC, con el tamaño de un RJ 45 y se presentan en formato sencillo o Duplex, diferenciándose externamente los de tipo SM de los de tipo MM por un código de colores, que se corresponde con un diámetro interno de la ferrule de 125,5 o 128  $\mu\text{m}$ .



Figura1.43. Conectores LC.

El conector LC, con ferrule de 1,25 mm., puede ser suministrado en SM con pulido PC o APC, y proporciona unas pérdidas por conector de ( $<0.25$  dB). Al inspeccionar un conector, es preciso tener en cuenta dos componentes principales: el conector en sí y la ferrule.

- **Conectores SC.** Es un conector de broche, también con una férula de 2.5 mm. que es ampliamente utilizado por su excelente desempeño. Fue el conector estandarizado en TIA-568-A, pero no fue utilizado ampliamente en un principio porque tenía un costo del doble de un ST. En la actualidad es solo un poco más costoso y más común, ya que se conecta con un movimiento simple de inserción que atora el conector. Existe también la configuración dúplex Internamente los conectores tienen un tipo de pulido específico, cuyas características difieren principalmente en la calidad física del enlace. Figura 1.44



Figura 1.44 Conector SC.

- **Conector Plano,** Cuando son enfrentados existe un espacio de aire entre las dos superficies debido a pequeñas imperfecciones en las superficies planas. Figura 1.45.



Figura 1.45 Conector plano.

- **Contacto Físico (Physical Contact).** Figura 1.46, Es la conexión más común, las dos fibras se encuentran como en el conector plano, pero las superficies son pulidas siendo levemente curvas o esféricas, la cual elimina el espacio de aire y fuerza a las fibras a entrar en contacto.

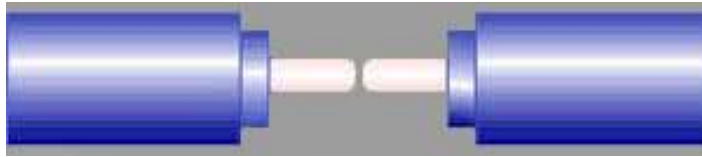


Figura 1.46 Conector PC.

- **UPC Color azul Ultra Contacto Físico (Ultra Physical Contact )**. Figura 1.47 Es una mejora al conector PC. Las superficies son tratadas con un pulido extendido para una mejor terminación de la superficie.



Figura 1.47 Conector UPC.

- **APC Color Verde Angular Contacto Físico (Angled Physical Contact)**. Figura 1.48 Es la última tecnología en contactos ópticos, en el cual las superficies del conector son curvadas y además anguladas en 8°. Esto mantiene una conexión firme y reduce considerablemente la reflexión



Figura 1.48 Conector APC.

Al contar los ST y FC con ferrules de posición fija, se procede a montar conectores de tipo PC (Physical Contact) para minimizar la atenuación, normalmente de pulido plano para MM y esférico para SM.

Al aparecer en el mercado los sistemas de alta sensibilidad a la reflexión de señal (CATV o sistemas Telecom de alta velocidad), y con el fin de maximizar las pérdidas de retorno, se perfeccionan los sistemas de pulido, desarrollando las



tecnologías SPC y UPC (con pérdidas de retorno  $> 45$  dB y  $>55$  dB respectivamente), mejorando los sistemas de pulido y APC ( $> 65$  dB) que consiste en dotar al extremo esférico de la ferrule de un ángulo de  $8^\circ$  que desviará al revestimiento todas aquellas reflexiones que no coincidan con el modo principal.

### 1.16 La ferrule

Es el elemento, en un conector, que soporta la fibra y posibilita su posicionamiento y alineación. Figura 1.49 Esta parte del conector permite el conectar un cable a un emisor o receptor. Normalmente son fabricadas con cristal, plástico, metal o materiales cerámicos, y comprende tres secciones principales:

- **La zona A**, que se corresponde con el núcleo de la fibra óptica, permite la propagación de la señal lumínica.
- **La zona B**, o recubrimiento, es el material óptico exterior que envuelve el núcleo y refleja la señal en el núcleo.
- **La zona C**, es el revestimiento exterior que rodea el recubrimiento y protege la fibra contra las agresiones mecánicas y la humedad, normalmente es de material plástico.

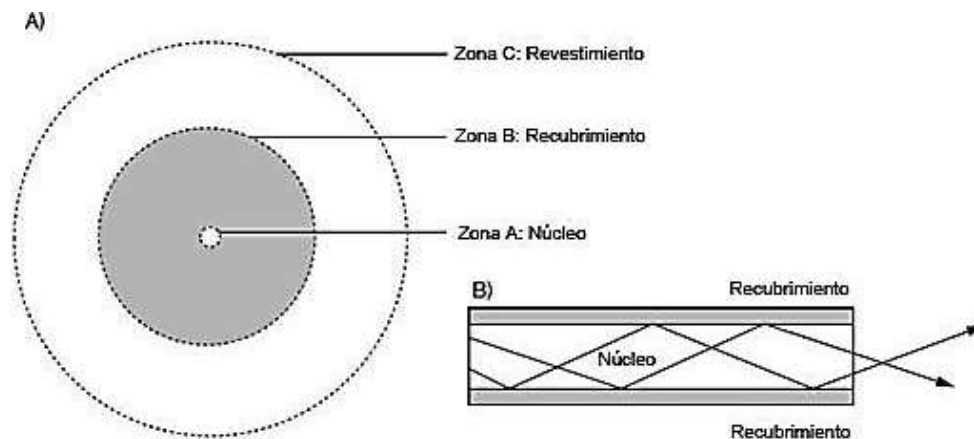


Figura 1.49 Elementos de un ferrule.

## Capítulo 2

### Funcionamiento, tipos de splitter y protocolo de recepción

En la búsqueda por encontrar materiales conductores con poca pérdida en la intensidad de la señal, capaces de soportar transmisiones de altas frecuencias y resistentes a las condiciones ambientales, la ingeniería llegó al desarrollo de la transmisión de señales luminosas a través de conductores elaborados con fibras de cristal o plásticas denominados fibras ópticas.

En la construcción, operación y mantenimiento de enlaces de fibra óptica se requieren de mediciones técnicas para verificar las características de los mismos.

Desde cada uno de sus componentes, hasta la transmisión, debiendo cumplir con los parámetros y valores establecidos en el Protocolo # 9 (Pruebas y recepción de enlaces con fibra óptica del operador telefonico dominante).

La evolución de la tecnología en el área de las telecomunicaciones ha conducido al ser humano a encontrar soluciones que permitan enviar cada vez más información de un punto a otro, a mayores velocidades y a mayores distancias con el mínimo de ruido posible.

**2.1 Planta Externa** La red óptica secundaria forma la segunda fase de la topología de red de la planta externa, Figura 2.1, y puede ser diseñada de dos maneras diferentes:

1. Centralizada y
2. Distribuida.

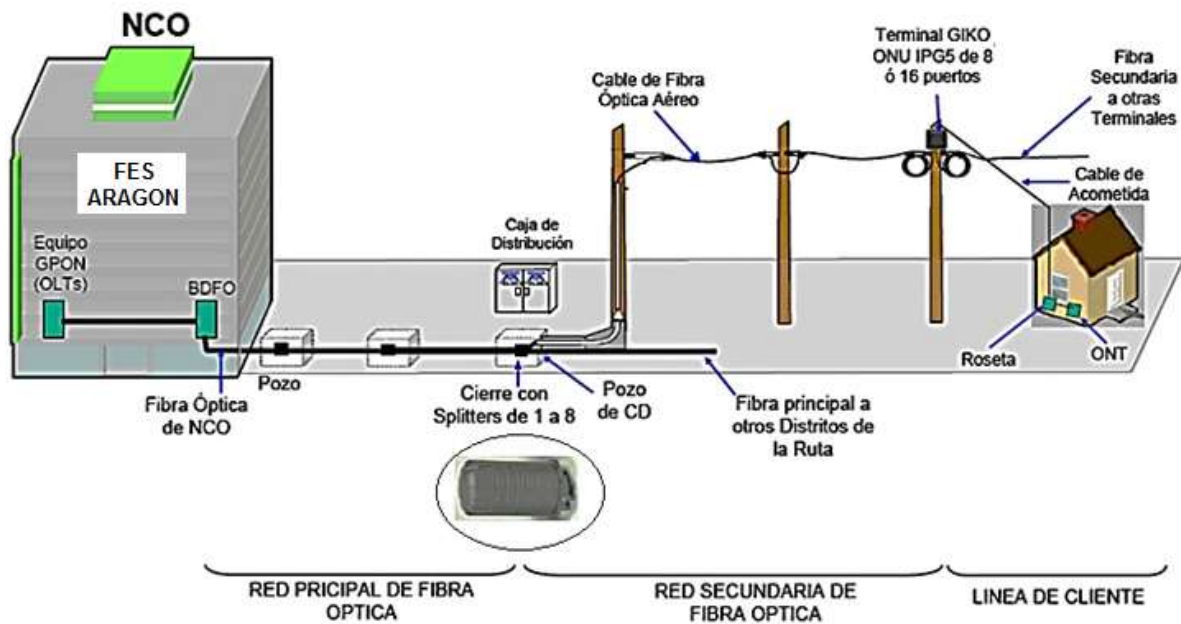


Figura 2.1. Red Principal y Red Secundaria.

### 2.1.1 Red Centralizada

Está formada por los cables que salen de la caja de distribución óptica, en la que se alojan los elementos divisores (splitters) que conectan a varias terminales ópticas (puntos de dispersión), como se muestra en la figura 2.2:

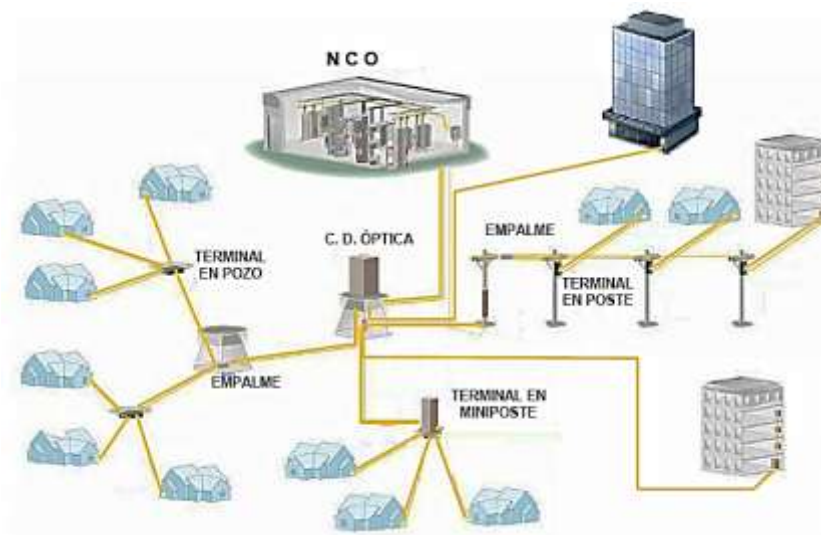


Figura 2.2. Topología Centralizada.

### 2.1.2 Red Distribuida

Está formada por los cables que salen de un cierre de empalme en el que se alojan los primeros elementos divisores (splitters) que conectan a varias terminales ópticas (puntos de dispersión), que a su vez alojan los segundos puntos divisores (splitters), como se muestra en figura 2.3

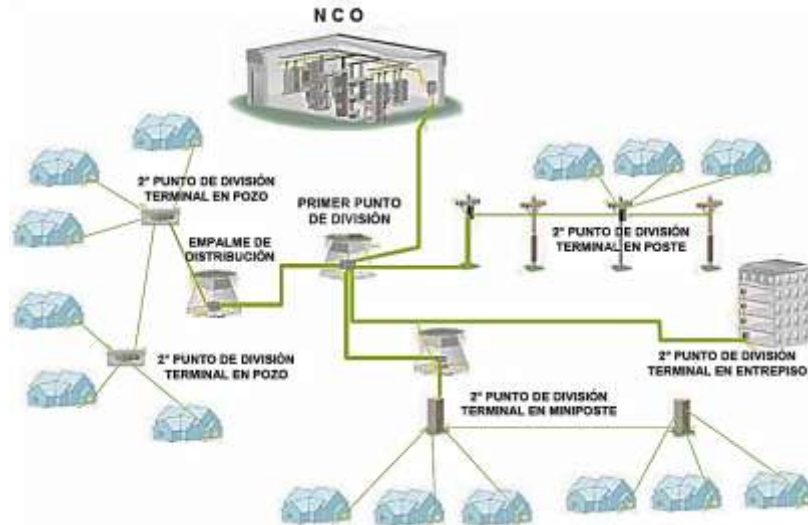


Figura 2.3. Topología de la Red Óptica Secundaria Distribuida.

### 2.1.3 Elementos de una Red Óptica Secundaria

#### 1. Caja de Distribución Óptica (CDO)

Utilizada en el diseño de una red centralizada, es un elemento de la planta externa cuya función es realizar la interconexión entre la red principal, a través de los divisores, y la red secundaria.

Se tienen tres tipos de Caja de Distribución, Figura 2.4:

1. **Chica:** Tiene capacidad de conectar 12 fibras principales y 288 fibras secundarias.
2. **Mediana:** Tiene capacidad de conectar 24 fibras principales y 432 fibras secundarias.
3. **Grande:** Tiene capacidad de conectar 48 fibras principales y 864 fibras secundarias.



Figura 2.4. Caja de distribución (CDO).

.Para su dimensionamiento se considera la demanda o saturación, así como el área geográfica que alimentará. Tabla 2.1

Tabla 2.1. Dimensiones de la caja de distribución.

| CDO     | Dimensiones cm<br>(alto x ancho x profundidad) | Capacidad      | Cantidad de<br>divisores | Montaje |
|---------|--|----------------|--------------------------|---------|
| Chica   | 91.40 x 68.58 x 45.72                          | 72 – 288 F.O.  | 12                       | Piso    |
| Mediana | 106.68 x 68.58 x 45.72                         | 289 – 432 F.O. | 24                       | Piso    |
| Grande  | 124.50 x 119.40 x 50.80                        | 433 - 864 F.O. | 48                       | Piso    |

## 2. Cierre de Empalme de División Óptico (CEDO)

Utilizado en el diseño de una red distribuida, es un elemento de la planta externa cuya función es realizar la interconexión entre la red principal, a través de los divisores alojados en él, y la red secundaria.

Se tienen dos tipos de Cierre de Empalme:

- Con capacidad de alojar de 1 a 4 Divisores con 4 puertos para cable y 4 charolas con un divisor por charola.

- Con capacidad de alojar de 5 a 12 Divisores con 6 puertos para cable y 6 charolas con capacidad de hasta dos divisores por charola.

### **3. Identificación del Punto de División**

El código de identificación para el Punto de División (Caja de Distribución Óptica o Cierre de Empalme de División Óptico) se forma por 8 caracteres: los 3 primeros identifican las siglas de la Central y los 6 restantes el número de Distrito de la Red, siendo los dos últimos caracteres las letras “FO”, ejemplos: AB\_0012FO, COG0004FO.

Las siglas de la Central serán las que correspondan al área geográfica de cobertura, donde se ubique el distrito.

En los casos de agrupación de distrito, la identificación del distrito debe ser el que corresponda en donde se coloque el cierre (CEDO). Para distritos existentes, se tomará el mismo código seguido de las letras “FO”.

### **4. Red Secundaria Centralizada**

Tomando como base que los módulos de conexión, en las cajas de distribución ópticas, son de 72 posiciones, el módulo de conexión de la red secundaria se compone de bloques de 72 conectores; que a su vez se componen de 6 filas de 12 conectores cada uno y se identifican del 1 al 12, de izquierda a derecha.

La identificación de las filas corresponderá a las Terminales, identificadas de izquierda a derecha y de arriba abajo, e inicia con las iniciales A1 (para 12 conectores), enseguida la A2 y así sucesivamente hasta la A6, para completar 72 conectores.

Durante el diseño de la Red Secundaria, la primera terminal (A1) debe quedar en la parte más alejada del distrito. Figura 2.5

- Para Caja de Distribución Chica: A, B, C, D.
- Para Caja de Distribución Mediana: A, B, C, D, E, F.
- Para Caja de Distribución Grande: A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M.

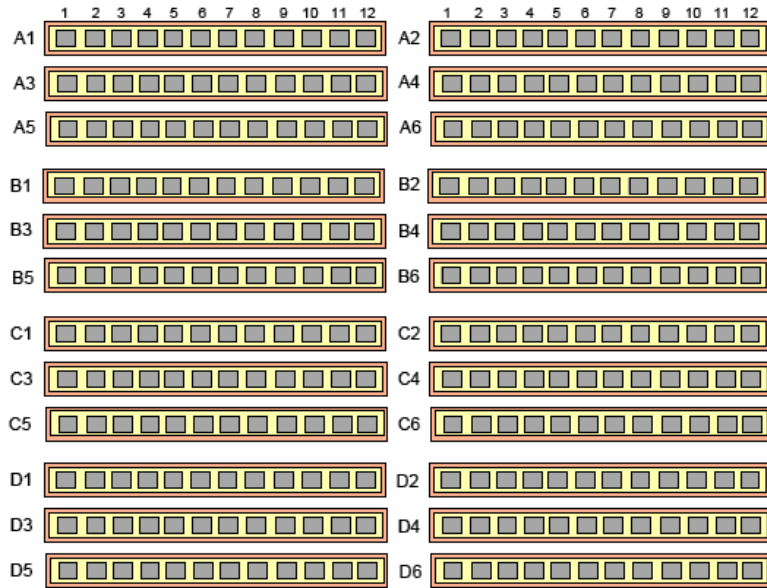


Figura 2.5. Identificación de los conectores de la red secundaria en la caja de distribución óptica chica.

## 5. Red Secundaria Distribuida

Dentro del Cierre de Empalme de División, en las charolas de empalme, se ubican los Divisores cuyas salidas alimentan a los cables secundarios y serán identificados de la siguiente manera:

En la primera charola se colocan los Divisores 1 y 2, y las 8 fibras salientes del primer divisor corresponden a las terminales A1 a A8, numerando estas fibras de arriba hacia abajo. Y las siguientes 8 fibras salientes, correspondientes al segundo divisor, corresponden a las terminales B1 a B8.

En la segunda charola se colocan los Divisores 3 y 4, que corresponden a las terminales C1 a C8 y D1 a D8 y así sucesivamente véase las figuras 2.6 y 2.7

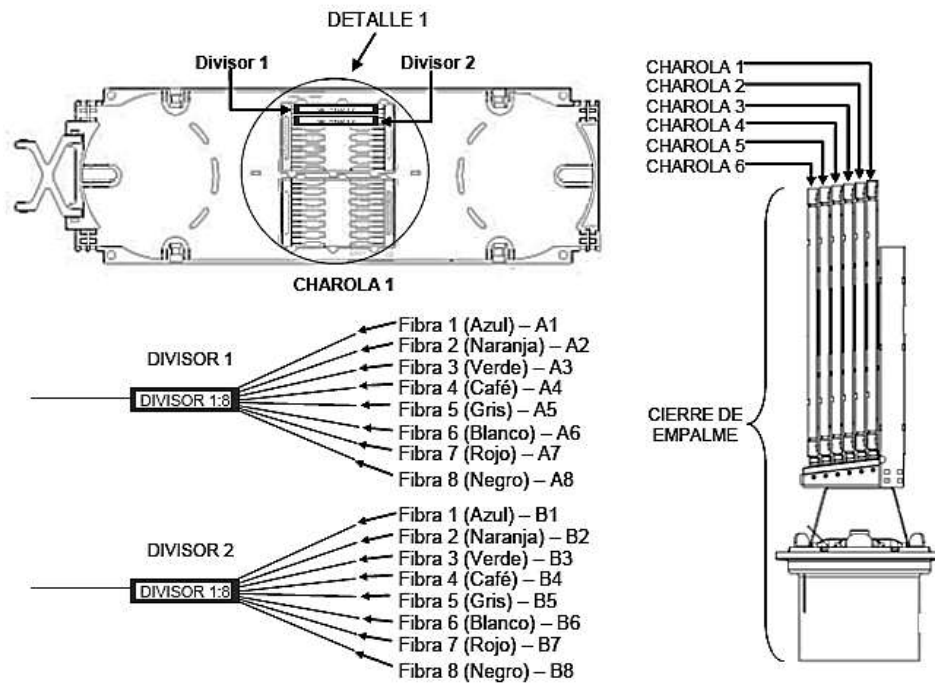


Figura 2.6. Identificación de las fibras de los divisores en el cierre de empalme de división.

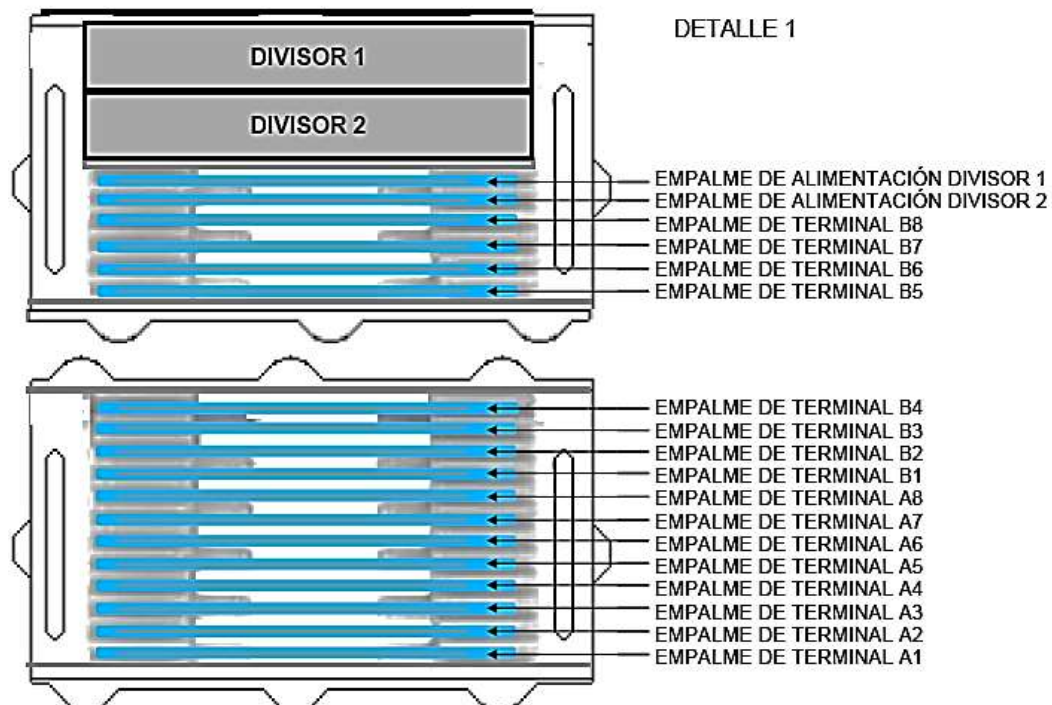


Figura 2.7. Ubicación de los empalmes de los divisores y terminales en el cierre de empalme de división.



Para identificar el cable de red secundaria se debe utilizar la placa de identificación con número de catálogo 1000670 y debe contener la siguiente información, Figura 2.8:

- Siglas de la Central
- Distrito
- Tipo de Cable
- Capacidad del cable y cantidad de fibras muertas
- Terminales que alimenta
- Mes y Año de Construcción
- Constructor

|            |                |          |             |           |        |               |   |
|------------|----------------|----------|-------------|-----------|--------|---------------|---|
| ○          | SIGLAS CENTRAL | MA       | DISTRITO    | MA_0002FO | CABLE  | SFDTP-1       | ○ |
| FES ARAGON | CALIBRE        | 24 FO-6M | CALIBRE     |           | CUENTA | FO D. E. F1-2 |   |
| ○          | FECHA          | 02-11    | CONSTRUCTOR |           | CICSA  |               | ○ |

Figura 2.8. Placa de identificación para cable de Red Secundaria de Fibra Óptica.

Las placas se deben colocar:

- Una placa en cada cable derivado a la salida de la Caja de Distribución Óptica o del Cierre de Empalme de División Óptica.
- Una placa en los pozos de paso (donde no existe empalme).
- En pozos de empalme: una placa antes del empalme, una placa después del empalme y una placa en cada cable derivado.

## 6. Puntos de Dispersión (Terminales)

Es el último punto de la Red Secundaria y son dispositivos desde los cuales se distribuye el servicio a los clientes a través del cordón de acometida óptico (bajante), Figura 2.9.

- **Red Centralizada.** Las terminales a proyectar en una Red Centralizada tienen capacidad de 6 y 12 puertos y pueden ser instaladas en: pozo, poste, fachada, azoteas e interior.
- **Red Distribuida.** Las terminales a proyectar en una Red Distribuida tienen capacidad de:
  - 8 puertos con un divisor de 1:8 y pueden ser instaladas en pozo, poste, fachada, azotea e interior.
  - 16 puertos con dos divisores de 1:8 y pueden ser instaladas en poste, fachada, azotea e interior.

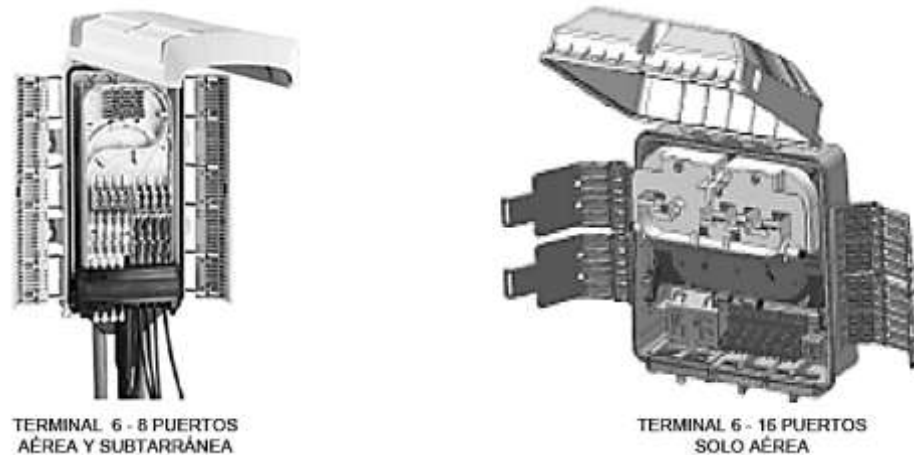


Figura 2.9. Terminales Ópticas.

Para identificar las Terminales se deben anteponer las letras “FO” a la nomenclatura, ejemplo: FOA1, FOD3, etc. La rotulación de los puertos de dispersión se realiza con etiquetas reflejantes adheribles, alfanuméricas, y deben contar con lo siguiente:

- **Iniciales de la Central.** Los dos o tres primeros caracteres deben ser alfabéticos y corresponden a las siglas de la central. (se utilizarán dos caracteres para la identificación de las centrales ubicadas en las

D.D. Metropolitanas y tres para la identificación de centrales en las D.D. restantes), ejemplo: MAZ, BO, MA, etc.

- **Número de Distrito.** Los siguientes tres caracteres deben ser numéricos y corresponden al número del distrito en que se encuentra el punto de dispersión, ejemplo: 104, 48, 5, 12, etc.
- **Identificación del Punto de Dispersión.** Finalmente, los cuatro últimos caracteres deben ser alfanuméricos, de los cuales los tres primeros son alfabéticos y el cuarto numérico. Dichos caracteres corresponden al punto de dispersión (ejemplo FOA3, FOB5, FOD2, etc.). para el caso de terminales reducidas, se debe adicionar un último carácter a la identificación, ya sea “a” o “b”, que indica la terminal reducida.

## **2.2 Divisores distribuidos (Splitters)**

La función básica de un sistema de transmisión de fibra óptica (o enlace de fibra óptica) es transportar una señal de una pieza de equipo electrónico en una ubicación (por ejemplo, una computadora, teléfono o dispositivo de video), al equipo correspondiente en otro lugar, con un alto grado de confiabilidad y precisión.

Existe una diversidad de tipos de fibra, y existen diferentes configuraciones de cables, dependiendo si se va a instalar dentro de un edificio, tubería subterránea, postes exteriores o bajo el agua.

Cuando el enlace crece demasiado, la fibra atenuará las ondas de luz que viajan por él cable de manera no se puedan distinguir del ruido. Actualmente el rango alcanza centenas de kilómetros antes de que se necesite la amplificación.

Aun con las fuentes de luz de más alta intensidad y las fibras con pérdida más baja, las ondas de luz finalmente se atenúan o debilitan, tanto por la absorción o dispersión, que deben ser regeneradas. En este momento se debe colocar un repetidor en el circuito.

Este dispositivo consta de un

- Receptor ligero,
- Un amplificador y regenerador de pulso
- Una fuente de luz.

Juntos reconstruyen los pulsos al nivel que tenían y lo envían. Aunque aquí no se incluyen, otros componentes que se pueden encontrar en el sistema de transmisión de fibra óptica los cuales son

- Dispositivos activos o pasivos,
- Conectores y divisores.

### **2.2.1 Divisores de potencia ópticos**

Los divisores pasivos se hacen torciendo y calentando varias fibras ópticas hasta que la salida de energía se distribuye uniformemente.

- La pérdida del divisor depende de la relación de división y es cerca de 3 dB para un divisor 1 x 2, incrementando 3 dB cada vez que el número de salidas se duplica.
- Un divisor 1 x 32 tiene una pérdida por división de por lo menos 15 dB. Esta pérdida se ve en señales upstream (ascendente) y downstream (descendente).
- El dispositivo divide una señal óptica proveniente de una sola entrada en múltiples señales de salida (por ejemplo dos). Y por lo general proporcionan una pequeña pérdida óptica a la señal que pasa por ellos Figura 2.10.

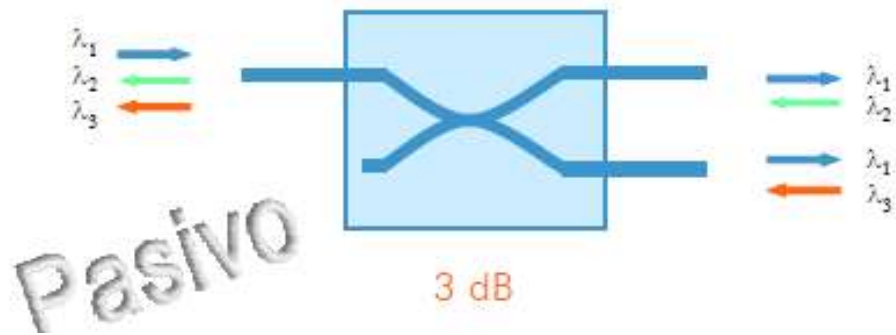


Figura 2.10 Divisores ópticos, pérdidas por inserción.

## 2.2.2 Divisores de longitud de onda óptica

Multiplexión por división de la longitud de onda

- Permite la combinación de .longitudes de onda múltiples (por ejemplo, dos) en una sola fibra. Dependiendo del diseño, un divisor óptico de longitud de onda, generalmente proporciona una pérdida de pequeña a media a las señales que pasan por ellos. Figura 2.11

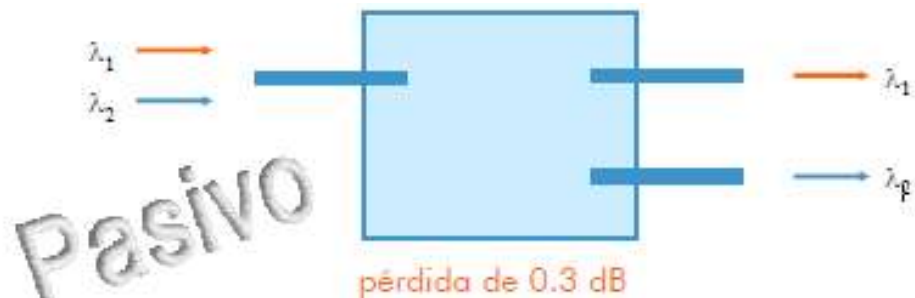


Figura 2.11 División de la longitud de onda óptica = tipo de FDM,

### 2.2.3 Conexión en red óptica y topología de red

En la redes de fibra óptica se usa mayoritariamente una estructura de anillo doble.

En el núcleo de la red que es el lugar donde se necesita gran capacidad.

La Figura 2.12 muestra las aplicaciones para FTTx



Figura 2.12 Aplicaciones para FTTx.

Las siguientes abreviaturas representan lo que está en el campo entre el dispositivo de CO y el dispositivo de CP. (Nomenclatura Alcatel)

CO = Central telefónica

CP = Instalaciones del cliente

PON = Red óptica pasiva

OSP = Instalación externa

ODN = Red de distribución óptica

Divisores solo en el punto de flexibilidad primario escenario de divisor distribuido,  
Escenario de divisor centralizado figura 2.13

- Divisores solo en el punto de flexibilidad primario
- Escenario de divisor distribuido
- Divisor en el punto de flexibilidad primario y secundario.

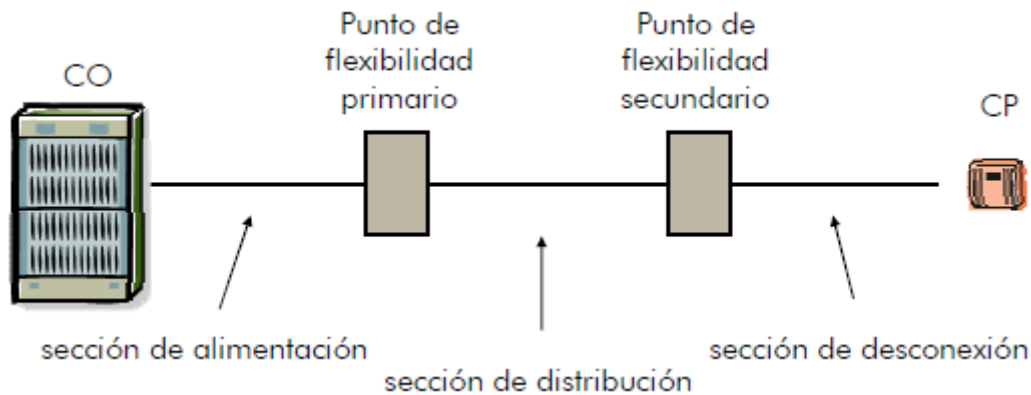


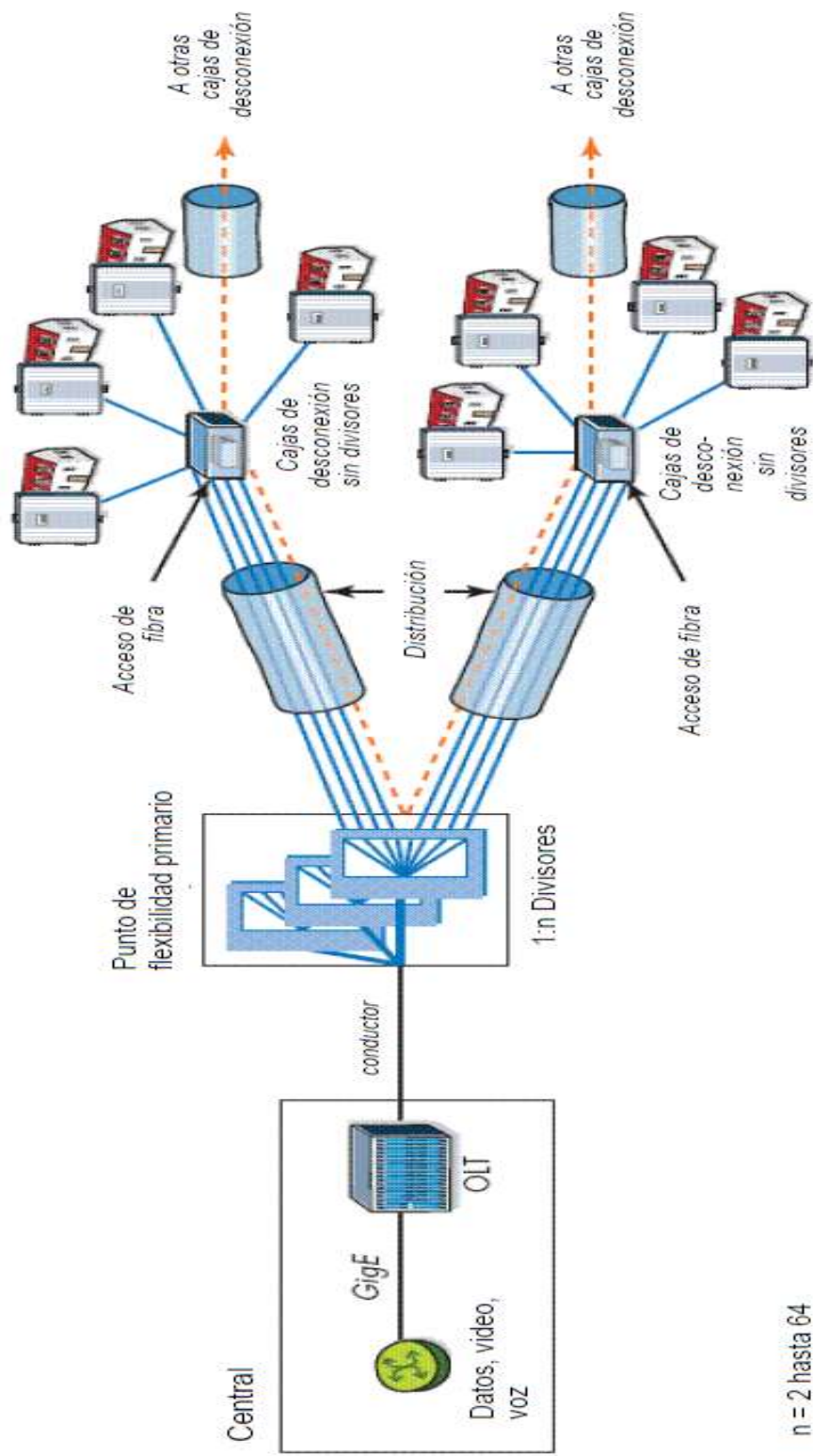
Figura 2.13 Escenario de divisor centralizado,

#### 2.2.4 Divisores centralizados

El punto de flexibilidad primaria es el elemento **ODN** (Red de distribución óptica) donde la instalación de alimentación y la de distribución están interconectadas.

Como se muestra en la figura 2.14, el cable de fibra de distribución incluye una fibra separada para cada desconexión.

- En una arquitectura centralizada, todos los divisores se localizan en el punto de flexibilidad primaria.
- Conforme la fibra de distribución pasa por un grupo de casas (cuatro casas, por ejemplo), se usa una caja de desconexión para permitir el acceso de las fibras que dan servicio a las casas en ese grupo.
- El resto de las fibras permanece y continúan hacia abajo, en el tendido del cable de fibra óptica de distribución.



n = 2 hasta 64

Figura 2.14 Divisores centralizados



Aunque los diseños de instalaciones externas varían ampliamente y es difícil establecer reglas generalizadas, los divisores centralizados tienden a proporcionar más flexibilidad y menor costo en algunas condiciones de implementación, como cuando se construye de mas, donde las tasas de utilización son más bajas y no todas las casas que se pasan están conectadas (ONT y desconexiones instaladas).

- Las casas se conectan conforme los clientes solicitan los servicios de banda ancha. Esto permite que solo las casas que están conectadas se conecten provisionalmente a los puertos del divisor.
- Todas las casas que se pasan pueden ser potencialmente conectadas provisionalmente agregando divisores adicionales, pero inicialmente solo aquellas casas que están en realidad conectadas consumen los puertos del divisor.
- Esto se puede hacer porque los cables de distribución convergen en los divisores centralizados que se localizan en el punto de flexibilidad primario. Como el número de divisores se correlaciona directamente con el número de fibras de alimentación y puertos PON (Red Óptica Pasiva) OLT, (Terminal de línea Óptica) se ocasiona un mejor uso de puertos del divisor en menos enlaces de alimentación y puertos PON en la CO.

El esquema centralizado se puede considerar más preparado para el futuro porque usa enlaces de fibra directos, provenientes del punto de flexibilidad primario para los clientes y permite tecnologías como PON WDM.

Las longitudes de bucle más cortas tienden a favorecer esquemas centralizados, porque el uso de menos cables del modelo distribuido produce ahorros insignificantes.

### 2.2.5 Divisores distribuidos

En lugar de ubicar todos los divisores en el punto de flexibilidad primaria es posible tener divisores en puntos múltiples en forma de cascada. Figura 2.15

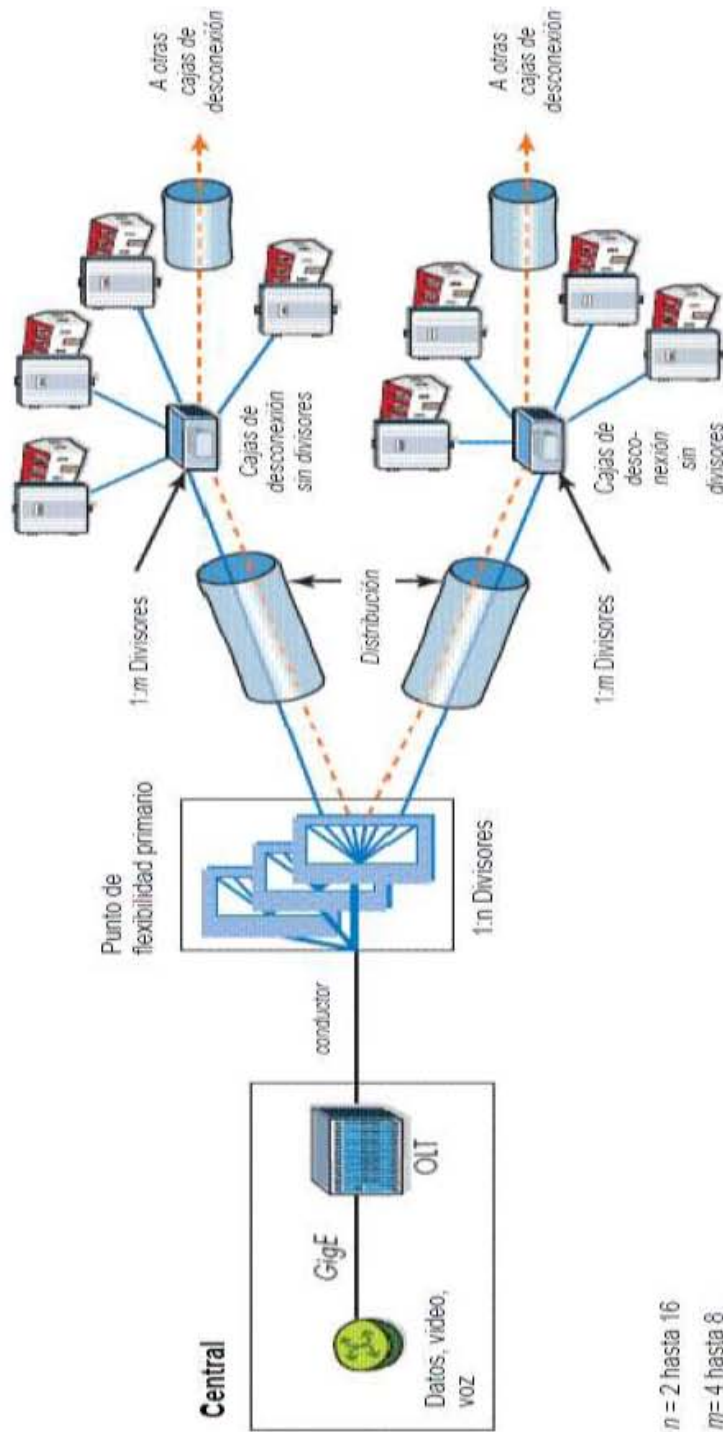


Figura 2.15 fibra de alimentación que puede ser dividida en 1:16

La figura anterior muestra como la fibra de alimentación puede ser dividida en 1:16 maneras usando divisores localizados en el punto de flexibilidad primario.

- Cada una de las fibras ramificadas en el cable de distribución puede ser dividida 1:4 veces en la caja de desconexión.
- Solo se necesita una fibra para dar servicio a un grupo de casas, en lugar de tener una fibra dedicada para cada casa como en el modelo centralizado.
- Una sola fibra es dividida e interconectada a los cables de desconexión para cada casa en la caja de desconexión.
- En situaciones sin desarrollar, donde todas las casas están conectadas, una arquitectura de divisor distribuido proporciona mejores puntos de costo porque minimiza el costo de la fibra.
- Por ejemplo, si un divisor de 1:4 localizado en el punto de flexibilidad primario está alimentando a un divisor de 1:8 en la caja de conexión, solo se necesita una fibra para dar servicio a 8 casas hasta el punto de conexión y se podrá usar mucho menos cable de distribución, lo que reducirá los costos.

La limitación en este caso es, sin embargo, que aun cuando solo 1 de las 8 casas esté conectada, necesita estar conectada al divisor 1:4, lo que a su vez consumirá un enlace de alimentación en el puerto OLT en la CO. El resultado será un uso deficiente y un costo más elevado.

En algunas situaciones de implementación, particularmente con superposición de RF, donde se requiere una alta potencia para lanzar la transmisión debido a la longitud del bucle, un modelo distribuido puede ofrecer más ventajas, reduciendo

el efecto de dispersión estimulada Brillouin<sup>1</sup> (SBS). En este caso, los divisores de primera etapa se pueden localizar en la CO y pueden reducir inmediatamente el nivel de energía, evitando así el efecto SBS.

En casos centralizados o distribuidos, sin embargo, usar un rango de división más elevado que 1:64 proporciona ahorros CAPEX<sup>2</sup> significativos en la instalación externa así, como en los dispositivos electrónicos de la CO y la conectividad pasiva.

Una división adicional de 1:64 comparada con 1:32 puede reducir sustancialmente el costo de la planta de alimentación, de dispositivos electrónicos de la CO y costos de conectividad pasiva.

---

<sup>1</sup> El fenómeno usado para medir temperatura y deformación a lo largo de una fibra óptica, reside en la interacción entre la luz que viaja por un medio y el medio en sí. Cuando la luz viaja por la fibra, la mayor cantidad continua adelante y una parte de ella es reflejada continuamente. El estudio en frecuencia de esa luz reflejada y el tiempo de tránsito, hace posible la determinación de la magnitud del evento y su localización a lo largo de decenas de kilómetros.  
<http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/instrumentacion/medida-con-fibra-optica/fibra-optica--dispersion-estimulada-de-brillouin/>, Página recuperada 29 de abril de 2013.

<sup>2</sup> **CAPEX** es la abreviatura de la expresión Inglés *Capital Expenditure* (en español, capex o gastos de capital) y es la cantidad de dinero gastado en la adquisición (o mejora) de los bienes de capital de una empresa en particular. El CAPEX es por lo tanto la cantidad de inversiones en equipos e instalaciones con el fin de mantener la producción de un producto o servicio o para mantener funcionando un negocio o un sistema particular. Por el contrario, el **OPEX**, se refiere a los costos asociados con el mantenimiento de equipos y gastos de consumibles y otros gastos de funcionamiento necesarios para la producción y el funcionamiento de del negocio o del sistema. Por ejemplo, la compra de una máquina es CAPEX, mientras que el costo de mantenimiento es OPEX. A menudo, y por diversos motivos, las empresas se encuentran en necesidad de cambiar CAPEX por OPEX y viceversa. Una forma de reducir los gastos de capital por contrapartida de OPEX es el uso de la subcontratación y el alquiler de equipos e instalaciones. Las ventajas más evidentes de este cambio es el aumento de la flexibilidad de los costes y la reducción de las necesidades de financiación (que son ahora más borrosa con el tiempo). Una desventaja puede ser aumento de los costos.  
<http://www.knoow.net/es/cieeconcom/gestion/capex.htm> Página recuperada 29 de abril de 2013

### 2.3 Elementos componentes de la red

Los splitters ópticos pasivos, son los elementos de la red que permiten la conexión punto a multipunto y que las señales ópticas de una fibra puedan ser distribuidas a otras varias fibras. Una sola fibra conectada al OLT puede distribuirse y conectar hasta 64 ONUs diferentes según las recomendaciones. Los splitters ópticos se implementan cascadeando splitters “físicos” con relación 1:2, donde la señal de entrada se distribuye en dos caminos diferentes resultando en una pérdida de potencia aproximadamente de 3,5 dB. Cada camino vuelve a separarse en dos, permitiendo mayor distribución pero también adicionando nuevamente una pérdida de potencia.

Por ejemplo, un splitter de razón 1:32 tendrá 5 etapas de split resultando en una pérdida de potencia de aproximadamente  $5 \times 3,5 \text{ dB} = 17,5 \text{ dB}$ . En realidad la pérdida introducida no es exactamente igual en un splitter 1:32 que si se colocan 5 splitters de relaciones 1:2, esta será algo superior y se debe a la introducida por los conectores externos necesarios, mientras que en el otro caso esto se realiza internamente.

En la tabla 2.2 se pueden ver las pérdidas típicas introducidas por algunos splitter comercialmente disponibles.

Tabla 2.2 Pérdidas de Inserción Splitters

| Relación de Split | Pérdida de inserción (dB) |
|-------------------|---------------------------|
| 1:2               | 3,6                       |
| 1:4               | 7,2                       |
| 1:8               | 11                        |
| 1:16              | 14                        |
| 1:32              | 17,5                      |

## **2.4 Protocolo # 9 para enlaces de Fibra Óptica**

El protocolo #9 para enlaces de F.O. son los parámetros de entrega de la construcción de enlaces de cables de fibra óptica, de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos en los anexos:

- Anexo 1. Formatos para el registro de resultados de las pruebas al enlace de F.O.
- Anexo 2. Formatos para la comprobación de trabajos para recepción.
- Anexo 3. Acta de recepción.
- Anexo 4. Configuración y pruebas para la red de fibra óptica a la casa. Para la recepción de obras con cables de F.O. se debe verificar la calidad de la construcción y de la transmisión en el enlace, lo cual se realiza a través de un recorrido físico y la aplicación de las pruebas y mediciones establecidas en el Protocolo # 9, Anexo 4: Configuración y pruebas para la red de fibra óptica a la casa.

Antes de iniciar con los procedimientos y consideraciones, es indispensable conocer las características de los elementos a recibir. Tabla 2.3

- Los cables se proveen en carretes cerrados para evitar el maltrato de los mismos durante el traslado.
- Los cables se proveen con capuchones termos contráctiles con los correspondientes dispositivos de tracción.
- Todos los cables cuentan con el marcaje en metros sobre el forro del mismo metro a metro.
- Cada carrete cuenta con un reporte de las pruebas ópticas realizadas en fábrica, que se identifica con un código en una tarjeta de identificación adherida a la cara del carrete, Figura 2.16.

Tabla 2.3. Contenido de datos e identificación adherible a la cara del carrete.

|   |  |
|---|--|
| Bodega de arribo                              | Longitud (en m)                              |
| Norma de referencia                           | P. Int.<br>(marcaje sobre forro inicia en 0) |
| Reporte (forma de identificación del reporte) | P. Ext.<br>(marcado final de cable)          |
| Identificación del cable óptico               | Lote   |
| No. de catalogo (SIATEL)                      | Orden de fabricación y fecha                 |
| Código  | Pedido                                       |
| Peso bruto (en kg)                            | No. de serie                                 |



Figura 2.16. Identificación adherida a la cara del carrete.

## 2.4.1 Principales características ópticas de los cables utilizados

Las características principales se muestran en las siguientes tablas 2.4 y 2.5

Tabla 2.4. Características principales de los cables utilizados.

| Tipo de Cable         |                       |          | Tipo de Fibra  | Índice de refracción de grupo efectivo |         | Atenuación (lineal promedio) dB/Km |         |         |
|-----------------------|-----------------------|----------|--|--|---------|------------------------------------|---------|---------|
| Subterráneo           | Aéreo                 | Interior |  | 1310 nm                                | 1550 nm | 1310 nm                            | 1550 nm | 1625 nm |
| TM-1                  | TM-6                  | TM-3     | Dispersión normal (Nexcore)                                    | 1.4670                                 | 1.4677  | ≤ 0.35                             | ≤ 0.25  | ≤ 0.24  |
| SFDTP-1 (Dieléctrico) | AFDTP-1 (Dieléctrico) |          |  |  |         |                                    |         |         |
| TM-13                 | TM-15                 | TM-14    | Dispersión corrida no cero con mayor área efectiva (NZDS-LEAF) | 1.4693                                 | 1.469   | ≤ 0.34                             | ≤ 0.25  | ≤ 0.24  |

Tabla 2.5. Características de Dispersión Cromática y Dispersión por Modo de Polarización de los cables.

| Tipo de Cable       | Dispersión Cromática (CD)  | Coefficiente de Dispersión por Modo de Polarización (PMD) |
|---------------------|--|---|
| TM-1, TM-6, TM-3    | $\leq 18 \text{ ps} / (\text{nm} \times \text{Km})$ a 1550 nm<br>$\leq 23 \text{ ps} / (\text{nm} \times \text{Km})$ a 1625 nm                                       | $\leq \frac{0.2 \text{ ps}}{\sqrt{\text{Km}}}$            |
| AFDTP-1, SFDTP-1    | $\leq 23 \text{ ps} / (\text{nm} \times \text{Km})$ a 1625 nm  |   |
| TM-13, TM-14, TM-15 | $-17.4 \text{ ps} / (\text{nm} \times \text{Km})$ a 1310 nm<br>2 a 6 ps / (nm x Km) (rango de 1530 a 1565 nm)<br>4.5 a 11.2 ps / (nm x Km) (rango de 1565 a 1625 nm) |   |



## Capítulo 3

### Parámetros de configuración para splitters con empalmadora de fusión de arco

Un factor significativo en la instalación de cualquier sistema de fibra óptica es el requisito de interconectar las fibras de manera que haya pérdida baja. Estas interconexiones se dan en la fuente óptica, en el fotodetector, en puntos intermedios dentro del cable donde se usen dos fibras, y en puntos intermedios en un enlace donde, dos cables se conectan.

La técnica particular seleccionada para unir las fibras depende de si se desea una unión permanente o una conexión fácilmente removible. Figuras 3.1 y 3.2

- Una unión permanente (usualmente dentro del cable) es llamada empalme, mientras que una
- Unión desmontable en el extremo del cable es conocida como conector

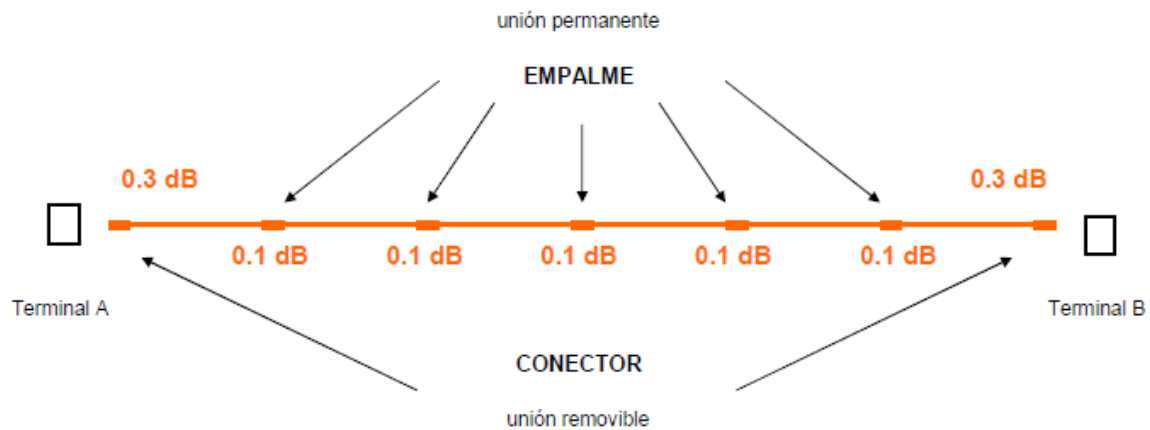
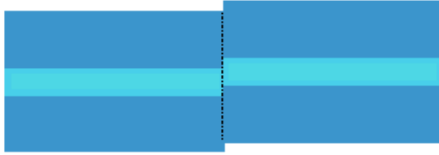


Figura 3.1 interconexión de fibras

### ➤ mala alineación

- los núcleos no están centrados
- gran pérdida de potencia



### ➤ buena alineación

- los núcleos están centrados
- poca pérdida de potencia

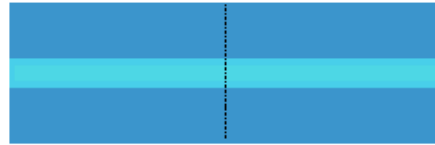


Figura 3.2 Alineación de fibras

### 3.1 Ubicación de cierres de empalme y puntos de dispersión

Cuando en la ruta se requiera realizar empalmes intermedios o instalar puntos de dispersión, el cable, los cierres de empalme y las cajas terminales se instalarán en postes bajo las siguientes consideraciones:

- Los cierres de empalme para cable, se deben colocar en el poste del lado del arroyo.
- En poste de corridas con red aérea de cobre existente, el cierre de empalme o punto de dispersión, se debe colocar en el poste se debe colocar en el poste que esté menos ocupado (con cierres o terminales) para fijar ahí el empalme a una altura inferior, donde sí se pueda instalar.
- Las Cajas Terminales se deben colocar en el poste del lado del parlamento (banqueta).

Para la ubicación e instalación de los cierres de empalme y puntos de dispersión (Terminales Ópticas), se deben referir a los documentos Técnicos Normativos:

- Boletín técnico: instalación de Cierre para Fibra óptica FOOSC 450 BS, (B/03/045).
- Boletín técnico: instalación de Cierre para Fibra óptica FOOSC 350 BS, (B/03/047).

- Boletín técnico: instalación de Terminal óptica GIKO ONU IP65 para proyectos de Fibra óptica a la Casa (FTTH), (B/03/046).
- Boletín técnico: instalación de Terminal óptica TIKO OFDC-ISROD para proyectos de Fibra óptica a la Casa (FTTH), (B/03/048).

### 3.1.2 Tipos de Empalme

Debido a que una bobina de cable de fibra óptica no llega a superar los 2Km de longitud, la distancia entre dos repetidoras o centrales puede ser de 30 o 40 Km, deben realizarse empalmes entre los tramos, y entre cada final y los conectores.

- **Empalme mecánico.** En este empalme se alinean físicamente las dos fibras por medio de elementos mecánicos sin fundir la fibra y posteriormente se protege con una caja hermética. Figura 3.3

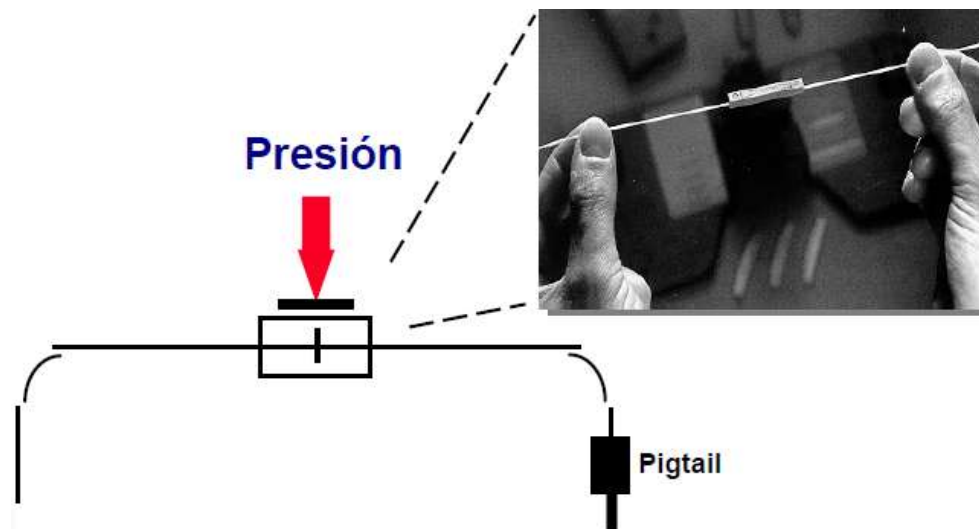


Figura 3.3. Tipo de empalme mecánico.

- **Empalme por fusión** Se realiza al fundir ambas fibras mediante un arco eléctrico en una empalmadora de fusión. Figura 3.4

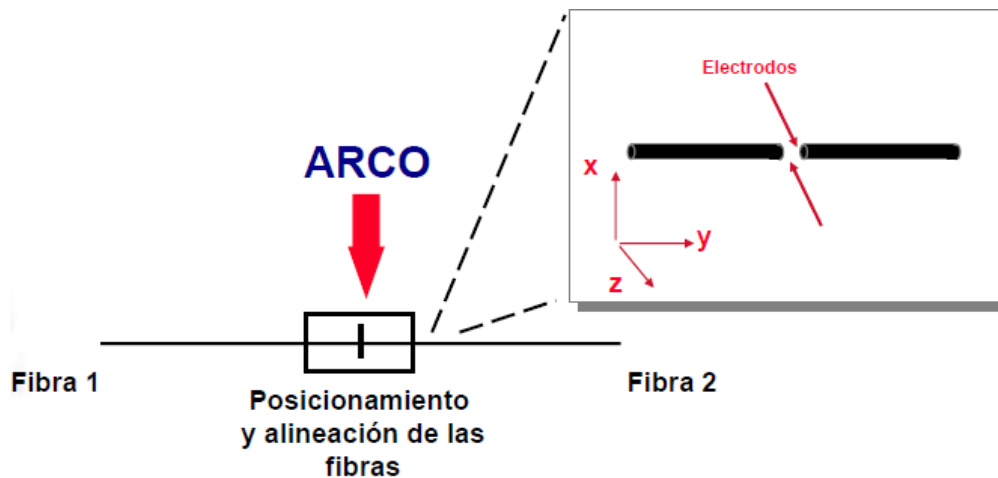


Figura 3.4. Tipo de empalme por fusión.

- **Proceso de empalme**
  - Preparación, pelado y limpieza de los cables de F.O.
  - Fijación y guiado de los cables en la caja de empalmes y repartidores.
  - cocas y reserva de fibra para posteriores mantenimientos
  - Inserción del termo retráctil
  - Pelado de la fibra (protección primaria)
  - Limpieza de la fibra desnuda
  - Corte de la fibra
  - Fusión
  - Calentamiento del termo retráctil
  - Cerrado de cajas y repartidores

- **Proceso de fusión**

- Inserción de las F.O.
- Alineamiento de las fibras XYZ (Pág. 99)
- Separación de las fibras (GAP)
- Limpieza por fusión
- Fusión
- Estimación de pérdidas

### 3.1.3 Tipos de Caja Terminal Óptica

Es uno de los elementos que conforman la red de fibra a la casa que está diseñada para colocarse en poste, en fachada o azotea. La terminal es el punto de conexión de los cordones de acometida que se llevan hasta los clientes

- **La Terminal Óptica GIKO**

La terminal óptica GIKO (Caja de distribución) IP65 preconectorizada con divisor óptico de 1:8 (Splitters), esta Terminal no es hermética, por lo cual, *no puede colocarse en pozos*. Figura 3.5



Figura. 3.5. Terminal GIKO ONU IP65.

La terminal se puede utilizar como terminal de 8 puertos equipada con 1 divisor óptico (splitters), o bien, como terminal de 16 puertos equipada con dos divisores ópticos (2 splitters).

Las principales características de la terminal son:

- La terminal cuenta con un sistema organizador de fibra óptica que asegura el radio de curvatura para las fibras de alimentación (fibras de red secundaria) y para los cordones de acometida.
- La bandeja de empalme permite la inclusión de hasta 2 divisores ópticos y sus empalmes.
- Dispone de dos puertos para la conexión de cables de red secundaria con un diámetro de hasta 23 mm.
- Dispone de 3 puertos para las salidas de los cordones de acometida. Estos cables se acoplan mediante grommets (sellos de plástico).
- También dispone de un espacio de almacenaje de tubos holgados en paso.
- Dispone de un sistema de 4 cierres laterales que no requieren del uso de herramientas especiales para abrir o cerrar la caja. Figura 3.6



Figura 3.6. Ubicación de Divisores Ópticos en Terminal GIKO.

- **La Terminal Óptica OFDC Tyco**

La Terminal óptica forma parte de la red de acceso de fibra óptica a la casa, es el último elemento de distribución de la red de telecomunicaciones al cliente y forma parte del segmento de red secundaria.

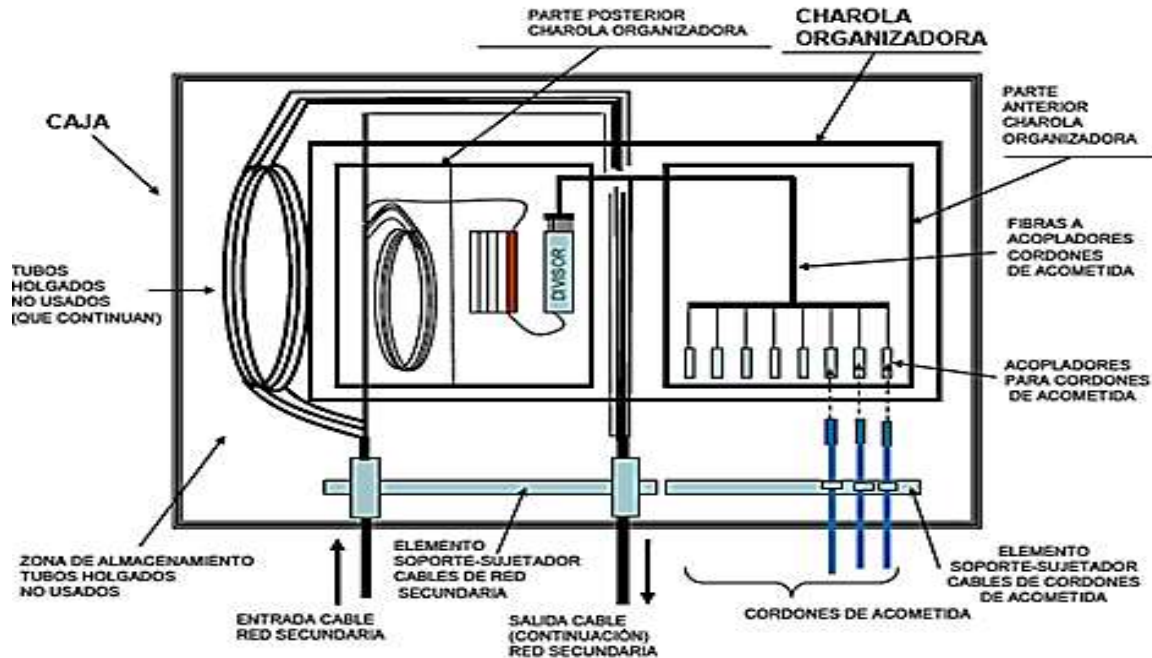


Figura 3.7. Diagrama esquemático, en el que se muestran las partes principales de la Terminal óptica.

La Terminal óptica preconectorizada es una caja hecha de material termoplástico duro (163 x 326 x 102 mm), que puede ser instalada en poste, fachada, azotea o en pozo, es hermética a prueba de intemperie, para la distribución de la red secundaria de fibra óptica pasiva.

Los sellos para las cerraduras longitudinales y los orificios por lo que entran y salen los cables a la Terminal, están garantizados por bloques de gel, los cuales al cerrar la caja se comprimen contra las paredes que los contienen, asegurando así la hermeticidad. Cuenta también con un sistema liberador de esfuerzos para el bajante. La conexión de los cables de los cordones de acometida es del tipo preconectorizada, acepta diámetros de los cables de cordón de acometida de

entre 4 a 6 mm. Se ponen adicionales cordones de acometida (hasta 8), sin afectar ni interrumpir el servicio a los clientes ya conectados. Figura 3.8

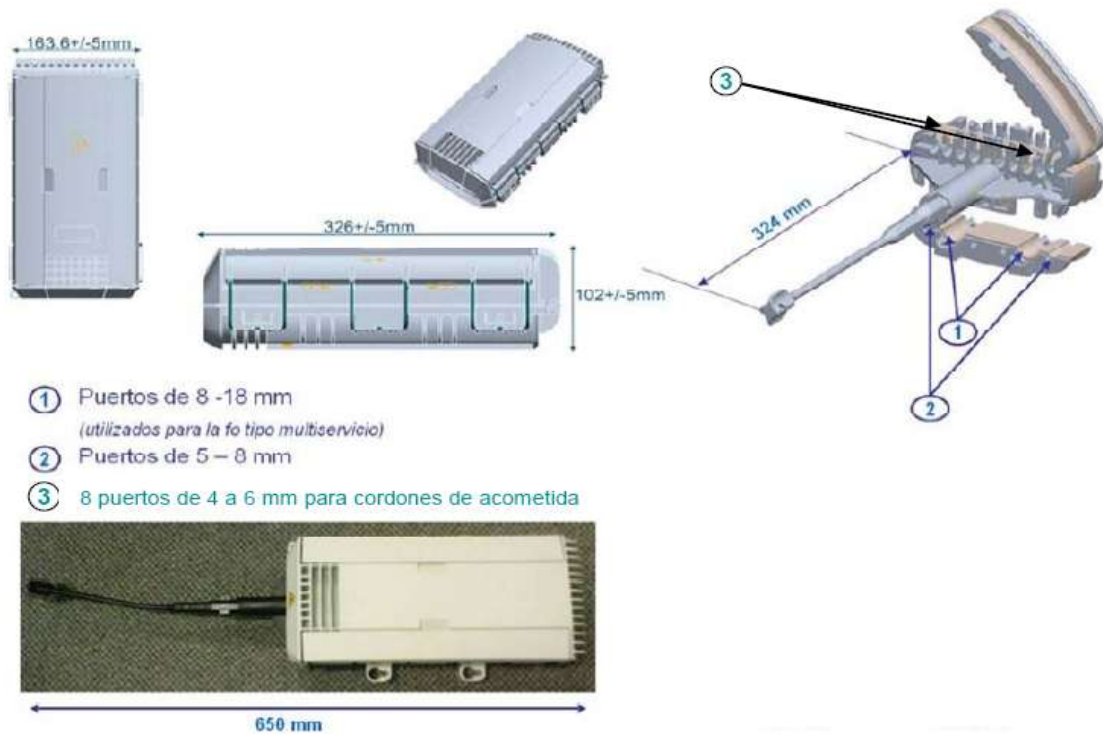


Figura 3.8. Dimensiones de Terminal óptica OFDC TYCO.

### 3.2 Tipos de cierres para Fibra Óptica Pasiva con divisores

#### a) Cierre para Fibra Óptica 350 C con divisores

Los Cierres FOSC 350 C se pueden instalar para cumplir dos aplicaciones diferentes:

- Como punto de conexión (empalmes y derivaciones de cables).
- Como punto de división (para alojar divisores de FTTH).

El cierre de empalme para Fibra Óptica FOSC 350 C tiene:

- Capacidad máxima de 96 empalmes.



- Es sellado, lo que se consigue a través de un gel especial.
- se puede reintervenir.
- Puede alojar hasta 4 charolas, cada una con 24 empalmes de fusión, la capacidad máxima es 96 empalmes.
- Puede ser colocado en poste o en pozo.
- Puede alojar hasta 4 divisores ópticos de 1:8, uno por charola y hasta 36 empalmes por fusión.

La figura 3.9., muestra un Cierre FOSC 350 C.



Figura 3.9. Cierre FOSC 350 C con divisores.

#### **b) Cierre para Fibra Óptica 450 BSC con divisores**

Los Cierres FOSC 450 BS se pueden instalar para cumplir dos aplicaciones diferentes:

- Como punto de conexión (empalmes y derivaciones de cables)
- Como punto de división (para alojar divisores de FTTH).

El Cierre de empalme para Fibra Óptica FOSC 450 BS emplea en su base un bloque de gel con tornillo compresor central que sella ambientalmente los puertos de entrada del cierre. Este cierre puede alojar hasta 6

charolas, cada una con 24 empalmes de fusión; por lo tanto, la capacidad máxima del cierre es 144 empalmes.

Cuando se colocan divisores ópticos en el cierre, éste puede alojar hasta 12 de 1:8: dos por charola y hasta 108 empalmes por fusión.

La figura 3.10., se muestra un cierre FOSC 450 BS con dos de sus principales componentes:

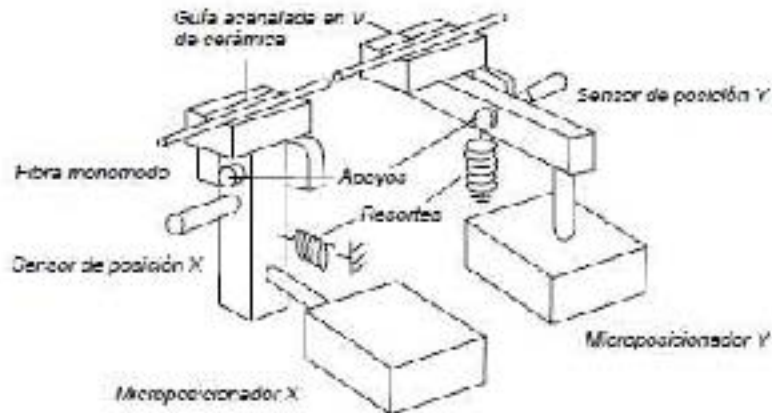


**Figura 3.10. Cierre FOSC 450 BS con divisores.**

### **3.3 Operación y manejo de empalmadora**

En los enlaces con cable de fibra óptica se realizan empalmes usando la maquina empalmadora de fusión, para unir los tramos de cable que conforman el enlace, haciéndose necesario protegerlos mecánicamente a través de cierres de empalme, los cuales facilitan su acomodo y resguardo, además de ser accesibles en el caso de que se necesite efectuar alguna intervención en los mismos.

Con el objeto de alinear la fibra para tener un buen empalme, se utilizan posicionadores de presión en las tres dimensiones, pudiendo hacerse el alineamiento en forma manual o automática a través de un sistema automatizado de posicionamiento.



**Figura 3.11. Sistema de Alineamientos**

Los sistemas de fusión para efectuar la unión de las fibras en las máquinas empalmadoras utilizan fuentes de calor, ya sea por arco eléctrico en el cual se controla la intensidad del calor regulando la corriente aplicada a los electrodos, siendo el más común, y también se utiliza la aplicación del láser, aunque este método resulta muy costoso.

La cantidad de calor aplicado al punto de unión de las fibras se maneja con 2 opciones:

- Tiempo de aplicación de la fuente de calor
- Intensidad de fuente de calor

Para poder alinear las fibras, se debe preparar la fusión y evaluar el empalme se utiliza un sistema de monitoreo, en el cual se observan los detalles del alineamiento y del empalme, a través de un juego de espejos y lentes

amplificados por un microscopio y vistos en pantalla, por un sistema de video, figura 3.12



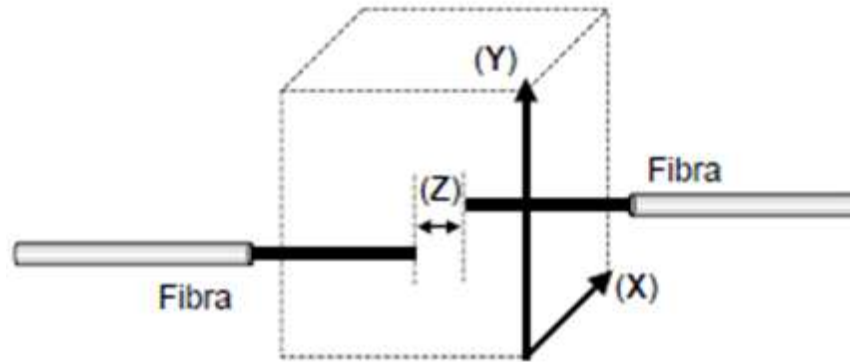
3.12. Sistemas de una Empalmadora

- **Operación de una empalmadora.** El empalme por fusión es el método utilizado para efectuar uniones permanentes en las fibras siendo, el más preciso y el que presenta menor pérdida en la señal. Consiste en la aplicación de calor en una zona específica entre las fibras a unir, suavizándolas y fusionándolas. El procedimiento para empalmar lo podemos dividir en cuatro pasos generales que presentarán algunas variantes de operación según sea la máquina empalmadora que se utilice:
  - Posicionamiento de las fibras en la máquina empalmadora
  - Prefusión
  - Fusión
  - Protección del empalme

### 3.4 Preparación del cable de fibra óptica

Una vez pelada, cortada y limpiada la fibra se monta ya sea en una base ranurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por motores o manualmente, los cuales se mueven efectuando un alineamiento en

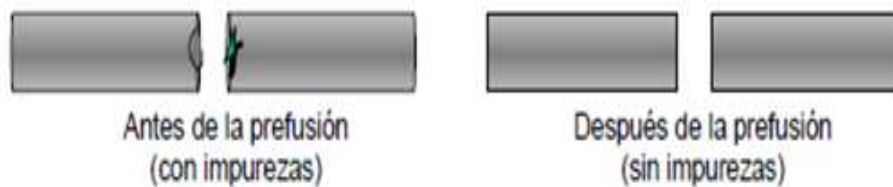
tres direcciones denominadas ejes X,Y,Z, lo cual se supervisa mediante un microscopio o una pantalla de video, figura 3.13



3.13. Preparación del cable de Fibra Óptica

### 3.4.1 Prefusion

Cuando los extremos de las fibras presentan impurezas pueden generarse burbujas de aire y deformaciones del núcleo durante la elaboración del empalme. Para eliminarlas se hace una prefusion, la cual consiste en aplicar calor durante un lapso muy pequeño, mucho menor que la fusión, con la que se redondean los extremos suavizando su superficie, evitando con esto las imperfecciones. Figura 3.14



3.14. Prefusion de la fibra

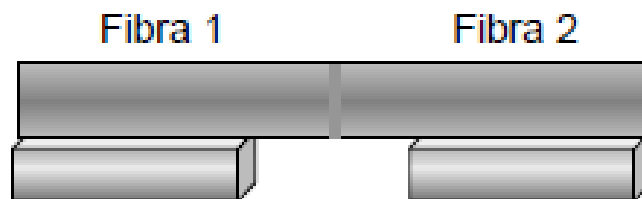
### 3.4.2 Fusión

Para aplicar calor a la unión se utiliza principalmente un arco eléctrico, aunque también se tiene fusión por gas o por láser. Para evitar movimientos indeseables de la fibra, ésta es sujeta por un sistema de bloques móviles o por sujetadores mecánicos. Figura 3.15



3.15. Fusión de la Fibra

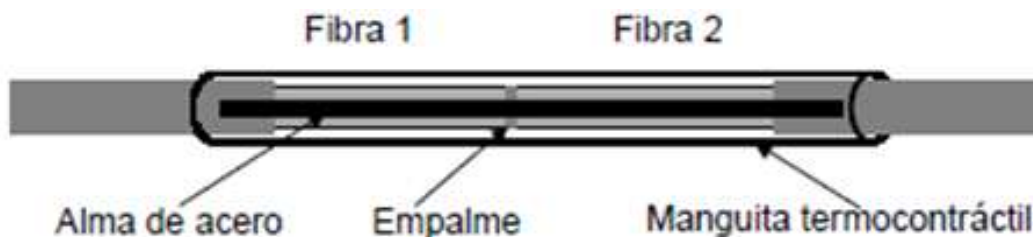
El tiempo de fusión y el calor aplicado deben estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente. Para la optimización de este método, se alimenta luz en un extremo de una de las fibras a empalmar y en la otra fibra se recoge la luz de la misma forma. que en donde la potencia óptica recibida sea mayor, se tendrá la alineación óptima de las fibras. Este procedimiento puede efectuarse en forma manual o automática. Mediante métodos de fusión se logran atenuaciones por empalme muy bajas, no debiendo ser mayores a 0.1 dB en la construcción de enlaces en el carrier correspondiente. Figura 3.16



3.16. Fibra Optica despues de la Fusión

### 3.4.3 Protección del empalme

Una vez hecho el empalme por fusión, se debe proteger con una cubierta (manguitas termocontráctiles) que sustituya las cubiertas primaria y secundaria de la fibra, dicha cubierta consta de un alma de acero. Se debe almacenar el empalme de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión, ya que la combinación de daños superficiales por manejo de fibra, crecimiento de grietas por calentamiento y esfuerzos residuales por cambio de la composición química, disminuyen considerablemente la resistencia mecánica del punto de unión de las fibras. Figura 3.17



3.17. Protección del empalme

### 3.5 Preparación de las F.O para su empalme

Antes de efectuar el empalme de fusión es importante preparar las fibras, realizando lo siguiente:

- Remover la protección primaria (pelarlas) de las puntas a empalmar
- Efectuar corte de precisión
- Limpieza de la punta

**Procedimiento.** Para remover la protección primaria (pelado) de la fibra se utiliza una pinza peladora, alcohol isopropílico y gasas para su limpieza, que son parte de le maletín, Figura 3.18, de intervención de fibra óptica de CORNING<sup>1</sup>.

---

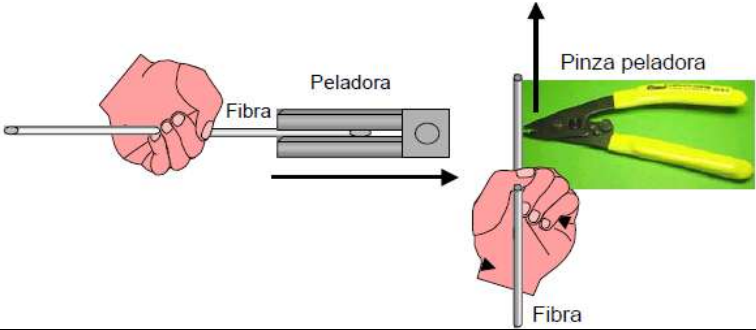

<sup>1</sup> En una innovación revolucionaria que literalmente cambió el mundo, Corning inventó la primera fibra óptica de baja pérdida comercialmente viable en 1970 . Hoy Corning sigue siendo el líder del mercado global en la industria. Corning ofrece una línea completa de fibras monomodo y



**3.18. Maletín de intervención de fibra óptica de CORNING.**

La Preparación para el pelado de fibra se observa en la tabla 3.1

**Tabla 3.1. Procedimiento para pelar las puntas de las fibras**

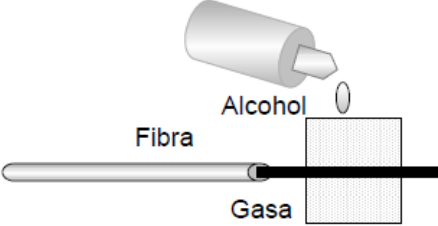
| Paso | Acción   |
|------|--|
| 1    | <p>Posicione las fibras y las pinzas evitando “hacer palanca”, para que no se quiebren las fibras.</p>  |
| 2    | <p>Ejecute el pelado longitudinalmente, procurando no dañar la fibra.</p>  |
| 3    | <p>Remueva la cubierta primaria (3 a 5 cm) de las puntas de las fibras a empalmar.</p>                 |
| 4    | <p>Limpie con gasa y alcohol isopropílico hasta remover completamente rastros de la cubierta primaria sobre la parte que se peló.</p>  |

multimodo para todas las redes de aplicaciones. De fibra óptica de Corning productos son reconocidos por su excelencia e innovación.

<http://translate.google.com.mx/translate?hl=es419&sl=en&u=http://www.corning.com/opticalfiber/&rev=/search%3Fq%3Dcorning%2Bfibra%26hl%3Des-419%26biw%3D1366%26bih%3D653>,

pág. Recuperada Abril/30/2013



|   |  |
|---|--|
|   |                    |
| 5 | En caso de que queden residuos de la cubierta, vuelva a pasar la pinza peladora y limpie nuevamente. |

**Corte de precisión de la fibra óptica.** Una vez que se ha removido la protección primaria en la fibra se procede a efectuar el corte de la punta, para lo cual se utiliza la cortadora de precisión, Figura 3.19 Este corte es muy importante porque de él depende en mucho la calidad del empalme.

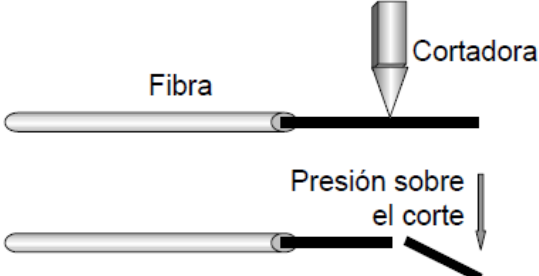


Figura 3.19. Cortadora de Precisión

### Procedimiento para el corte de precisión

Tabla 3.2. Procedimiento de corte

| Paso | Acción   |
|------|--|
| 1    | Verifique que las fibras están libres de impurezas y colóquelas en la escala correspondiente en la cortadora.  |
| 2    | Haga coincidir la fibra desnuda y la protección primaria, de la siguiente manera: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La fibra del pigtail se coloca a 18 mm. de la escala 6 a 20 mm.</li> <li>• La fibra normal se coloca a 16 mm. de la escala de 6 a 20 mm.</li> </ul> |
| 3    | Baje con cuidado la bisagra de presión y el clip de seguridad; corra el soporte de navaja firmemente, una sola vez, evitando que rebote.   |
| 4    | Baje la palanca de ruptura y haga presión en el botón de la palanca firmemente, hasta escuchar el "click" de ruptura.  |

|   |  |
|---|--|
|   |   |
| 5 | Levante la palanca de ruptura, el clip de seguridad, la bisagra de presión y retire la fibra.  |
| 6 | Verifique que el corte se haya efectuado transversalmente a 90° y que no presente imperfecciones, auxiliándose de un microscopio portátil. |

### 3.6 Recomendaciones para el empalme de fibra óptica

- Tener el equipo, material y herramienta necesaria para realizar el empalme.
- Preferentemente tener el espacio y superficie plana.
- No realizar el corte cerca de la empalmadora ya que las fibras pueden introducirse y causarle daños a la empalmadora.
- Dar mantenimiento de limpieza y empalmadora con un cotonete y alcohol isopropílico<sup>2</sup>.
- En la cortadora retirar las fibras que se encuentran en el depósito de la misma.
- Tener cuidado de no tirar o golpear la cortadora, así como limpiar las pinzas
- Una vez que se retiró el acrilato de la fibra a empalmar realizar la limpieza con una toalla empapada de alcohol isopropílico y no volver a tocarla con la mano ya que puede ensuciarse o estrellarse

<sup>2</sup> El alcohol isopropílico es otro nombre para el isopropanol o alcohol para frotar. El alcohol isopropílico es un producto común en las droguerías y farmacias, y es un líquido transparente de bajo costo. En aplicaciones medicinales, el alcohol isopropílico limpia las heridas y disminuye la picazón. El alcohol isopropílico es también un producto de limpieza y desinfecta las superficies, pero puede sentirse duro en tu piel. Sin embargo, existen alternativas saludables al uso del alcohol isopropílico.

[http://www.ehowenespanol.com/alternativas-saludables-alcohol-isopropilico-lista\\_128344/](http://www.ehowenespanol.com/alternativas-saludables-alcohol-isopropilico-lista_128344/)

Página recuperada 3 Agosto de 2013

- Antes de realizar el pelado de la fibra introducir la manga termo contráctil para no dañar la fibra, así mismo checar el tamaño de la manga para calcular que cantidad se va a retirar de acrilato.
- Realizar los pasos de la tabla 3.2 para realizar el corte de acuerdo a la cortadora en uso ya que de saltar alguno y realizarlo posteriormente podemos dañar la fibra.
- Cuando se retira el acrilato no soplar ni golpear la pinza en uso.
- No consumir ningún tipo de alimento o líquido en el lugar de trabajo.
- Colocar la fibra en la empalmadora con un movimiento de arriba hacia abajo y no arrastrar la fibra por el canal indicado para colocarlo.
- Colocar la fibra apenas un par de milímetros antes de los electrodos para obtener un buen empalme
- No azotar los sujetadores de la fibra ya que podemos estrellar la fibra o romperla.
- Una vez realizado el empalme no levantar rápidamente la tapa de la empalmadora ya que los carros que alinean la fibra no regresan a su lugar con el debido tiempo y corre el riesgo de dañarse.
- Colocar los residuos de la fibra en un sobre de papel indicando que es vidrio para prevenir accidentes.
- Utilizar las pinzas para cada capa específica de la fibra ya que de no ser así las pinzas se descalibran.
- No ver directamente a la fibra de frente puede estar transmitiendo, pudiendo causar un daño irreversible ya que se transmite luz láser no visible.
- Utilizar lentes protectores durante cualquier operación con la fibra óptica ya que las rebabas de vidrio pueden penetrar fácilmente y son difíciles de remover.
- Después de trabajar con fibra óptica lavarse las manos antes de tocar cualquier parte del cuerpo.
- Mantener cerrados los envases del alcohol, es un solvente puede haber riesgo de incendio.

- Cuando se retira el acrilato de la fibra o cubierta ceñida, hacer el jalado hacia afuera sin enrollar la fibra en los dedos.
- Una vez realizado el empalme, no tocarlo, se deben hacer pequeños movimientos para verificar la resistencia del empalme e inmediatamente colocar la manga termo contráctil llevándola inmediatamente al horno.
- Al sacar el empalme del horno no tocar ya que está caliente, esperar un par de minutos.
- Limpiar el área de trabajo cuando se haya terminado la actividad.

### **3.7 Recepción del enlace**

Consiste en realizar las pruebas ópticas indicadas, y un recorrido físico de la ruta que siguen los elementos instalados en el enlace, desde el Origen hasta el Destino, después de haber concluido la construcción de todo el enlace o proyecto de red.

La recepción del enlace contempla los siguientes rubros:

#### **a) Pruebas Ópticas**

Durante la ejecución de las pruebas, se verifica que las mediciones cumplan los parámetros establecidos y se identifican aquellos puntos que no cumplen con las especificaciones para que sean corregidos. Durante la ejecución de las pruebas, deben ser llenados los formatos establecidos para ello, Anexo III. Durante la realización de estas pruebas se deben de seguir los procedimientos de limpieza.

#### **b) Recorrido físico**

El recorrido físico se realiza observando todos y cada uno de los componentes del enlace, tales como distribuidores ópticos, postes, cajas de empalme, cajas terminales ópticas, cables, canaletas, etc. Detectando visualmente aquellos puntos en los que los elementos instalados están fuera de especificaciones o norma y que ésta situación derivaría en fallas, con la consecuente alteración a la continuidad y/o calidad del servicio.

Durante el recorrido debe ser llenado el formato “Hoja de comprobación de trabajos para recepción” Anexo IV, según el tipo de enlace: Larga Distancia y Zonales F-007, o Locales F-008.

**c) Acta de recepción**

Una vez concluidas, satisfactoriamente, las pruebas ópticas, actividades de comprobación (recorrido físico) y entrega de documentos como última actividad se debe llenar el acta de recepción.

**d) Pruebas Punto a Punto**

las mediciones punto a punto son pruebas ópticas que deben realizarse después de haber instalado y empalmado el cable en todo el trayecto, sobre todas las fibras del cable. Antes de efectuar las pruebas, se establecen puntos de identificación origen y destino, así como el número de cables y número de fibras.

Los puntos de identificación (origen – destino) nos darán las secciones a las que se aplicarán las mediciones, y corresponden a:

Para enlaces de larga distancia, zonales y troncales:

- Distribuidor de Fibras Ópticas en central a distribuidor de fibras ópticas en central.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en central a distribuidor de fibras ópticas en regenerador o amplificador.
- Distribuidor de fibras ópticas en regenerador o amplificador a distribuidor de fibras ópticas en regenerador o amplificador.

Para enlaces Urbanos, Figura 3.20

- Distribuidor de fibras ópticas en central a fibras ópticas del cable en puntas.
- Distribuidor de Fibras ópticas en central a distribuidor de fibras ópticas en sitio del cliente.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Conector del arnés en Gabinete IPDSLAM o TBA.

- Distribuidor de Fibras Ópticas en central a distribuidor de fibras ópticas en caja de distribución óptica.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en central a punto de dispersión óptico (terminal óptica).
- Distribuidor de Fibras Ópticas en caja de distribución óptica a punto de dispersión óptico (terminal óptica).

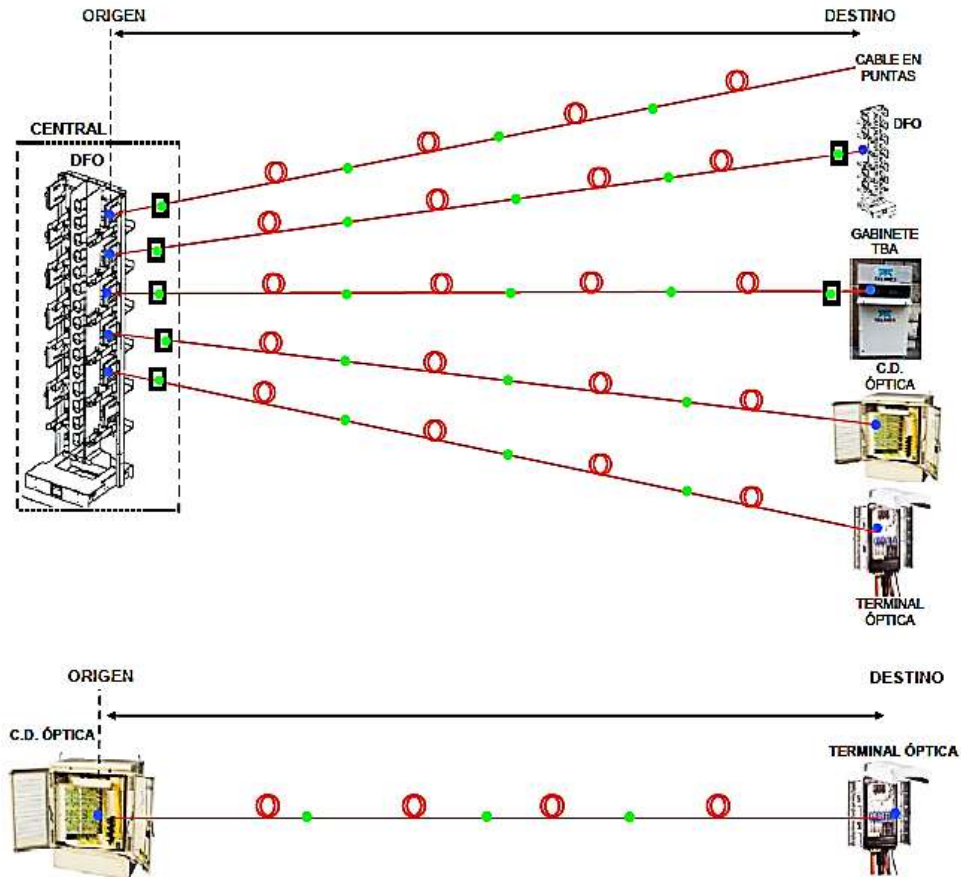


Figura 3.20 Secciones a las que se aplican las pruebas.

El uso de las bobinas de lanzamiento se condiciona al equipo que se esté utilizando.

- En algunos equipos se deben utilizar 2 bobinas de lanzamiento con longitud  $> 2000$  m, del mismo tipo de la Fibra bajo prueba, (una al origen "O" y la otra al destino "D"), para la medición de los conectores terminales.

- En los equipos cuya zona muerta es muy corta, se puede prescindir de la bobina de lanzamiento y realizar los ajustes necesarios en el equipo.

## 1. Ejecución de las pruebas

A continuación se presentan las configuraciones y pruebas para los enlaces de fibra a la casa, tanto para la red principal como para la red secundaria. Las pruebas se deben realizar en la ventana de 1310 nm.

El equipo requerido es:

- **Reflectómetro Óptico (OTDR)** que opere en la longitud de onda de 1310 nm.
- Bobina de lanzamiento GPON de 100 mts de longitud, con conector SC/UPC (conector de pulido convexo).
- **Evento Agrupado Terminal** incluye: El conector de la bobina de lanzamiento, el conector en la terminal, el divisor óptico y, el empalme entre la fibra del divisor óptico y la fibra secundaria.
- **Evento Agrupado CEDO / CDO** incluye: El Empalme entre la Fibra Saliente del Divisor y la Fibra Secundaria, el Divisor Óptico y el Empalme entre la Fibra del Divisor y la Fibra Principal.

## 2. Parámetros a cumplir se muestran en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Parámetros de pérdidas.

| Parámetros a medir   | Unidad | Valor   |
|--|--------|---------|
| Pérdida en Empalme por Fusión                                    | dB     | < 0.08  |
| Pérdida en Conectores FC/LC/SC (APC, UPC) por conector.          | dB     | < 0.25  |
| Pérdida en Evento Agrupado Terminal                              | dB     | < 11.08 |
| Pérdida en Evento Agrupado CEDO /CDO con empalme a Red Principal | dB     | < 10.66 |
| Pérdida Evento Agrupado CEDO /CDO sin empalme a Red Principal    | dB     | < 10.58 |

### 3. Configuración y Prueba a las Fibras del Cable Principal

Cuando no existe aún red secundaria en el distrito, se realiza la prueba por reflexión de cada una de las fibras del cable principal a utilizar, desde el conector óptico en el DFO, en el NCO o central, hasta la punta del cable en el distrito. La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace, Figura 3.21

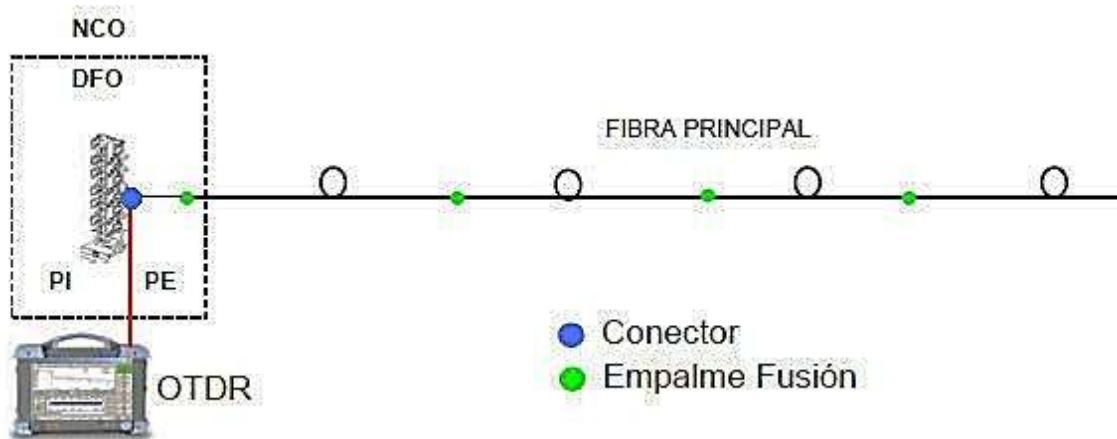


Figura 3.21 Medición del OTDR desde Red Principal.

Cuando ya existe Red Secundaria en el Distrito, y después de hacer el empalme de las fibras principales a los Divisores correspondientes, se realiza la Prueba por Reflexión de cada una de las fibras del Cable Principal utilizadas, desde el Conector Óptico en el DFO, en el NCO o Central, hasta el Divisor Óptico correspondiente en el Distrito. La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace.

En ambos casos, la prueba se debe realizar con un ancho de pulso de 5 ns. Figura 3.22



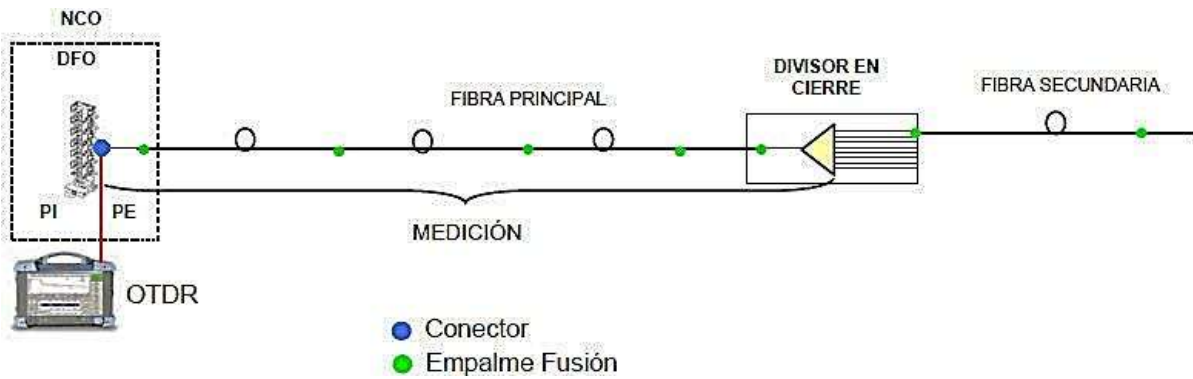


Figura 3.22 Medición del OTDR desde Red Secundaria.

#### 4. Configuración y Prueba a las Fibras del Cable Secundario

Cuando no existe aún red principal en el distrito, se efectúa la prueba por reflexión desde el puerto uno de cada una de las terminales, hasta el divisor óptico en el distrito. la medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace.

La prueba se debe realizar con un ancho de pulso de 275 ns, Figura 3.23

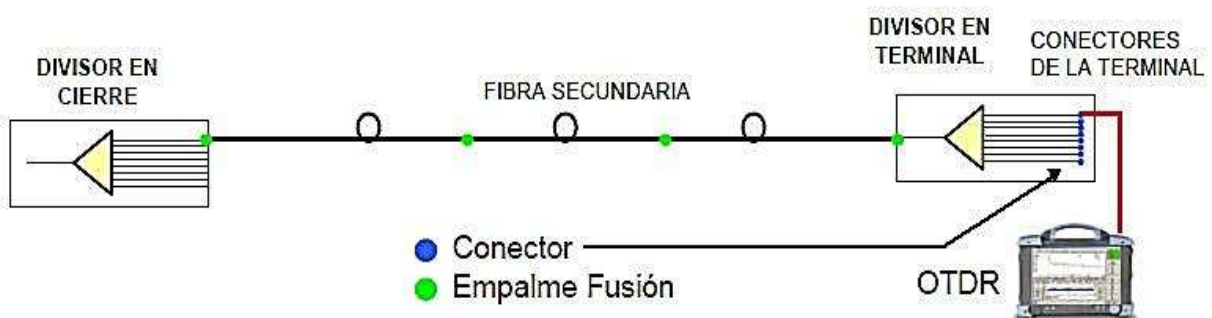


Figura 3.23 Medición del OTDR cuando no hay Red principal.

Cuando ya existe Red Principal en el Distrito, y después de hacer el empalme de las fibras principales a los Divisores correspondiente se efectúa la Prueba por Reflexión desde el Puerto Uno de cada una de las Terminales, hasta el Conector Óptico en el DFO, en el NCO o Central.

La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace. Figura 3.24

La prueba se debe realizar con un ancho de pulso de 275 ns.

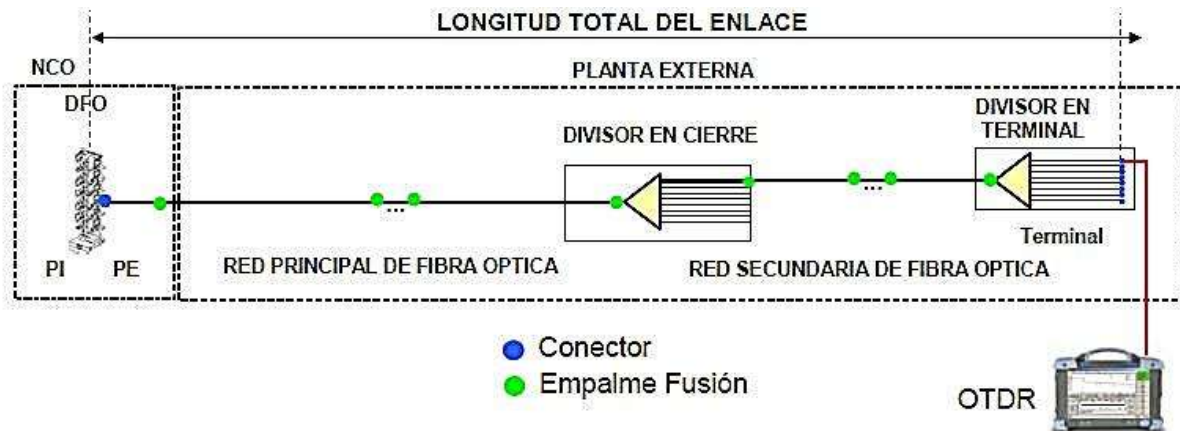


Figura 3.24 Medición del OTDR cuando hay Red Principal y divisor en cierre.

### 3.8 Presupuesto de Pérdida

Con el fin de establecer un parámetro de referencia, que nos permita determinar si el enlace o sección del enlace cumple las condiciones necesarias para su funcionamiento, es necesario calcular la pérdida máxima aceptada, considerando las especificaciones de los equipos Transmisores / Receptores. El presupuesto de pérdida (valor calculado de atenuación), es la suma de los parámetros en los siguientes elementos del enlace o sección, se puede observar en la tabla 3.4 los valores de atenuación y en la tabla 3.5 las pruebas y parámetros punto a punto

$$\alpha_c = (\alpha_{fo} \times L) + (N_e \times P_e) + (N_c \times P_c) + (N_d \times P_d)$$

Dónde:

- $\alpha_c$  = Presupuesto de pérdida.
- $\alpha_{fo}$  = Atenuación de la F. O. por Km. (de acuerdo al tipo de fibra y ventana de operación).

- **L** = Longitud de la fibra en Km.
- **Ne** = Número de empalmes en el enlace o sección.
- **Pe** = Pérdida máxima por empalme (valor de tabla 2.16).
- **Nc** = Numero de conectores terminales por enlace or sección (considerar par de conectores).
- **Pc** = Pérdida por conector terminal (valor de tabla 2.16).
- **Nd** = Número de Divisores (para enlaces Fibra a la Casa).
- **Pd** = Pérdida por Divisor (para enlaces Fibra a la Casa).

**Tabla 3.4 Valores de Atenuación a considerar para cálculo**

|                 | Elemento   | Unidad. | Valor a considerar.                      |
|-----------------|--|---------|--|
| Atenuación por: | Par de Conectores (entrada-salida) FC/LC/SC (APC, UPC) | dB      | 0.50                                     |
|                 | Empalme Fusión   |         | 0.08                                     |
|                 | Empalme Mecánico                                       |         | 0.10                                     |
|                 | Divisor  |         | 1:8 = 10.5    1:32 = 17.5    1:64 = 21.0 |
|                 | Fibra  | dB/Km.  | Tabla 2.13                               |

**Tabla 3.5. Pruebas y Parámetros de las pruebas Punto a Punto.**

| Prueba.                    | Parámetros a medir.                       | Unidad (promedio ambos sentidos) | Valor a Considerar.           | Equipo a utilizar   |
|----------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|---|
| Atenuación (Retrodifusión) | Pérdida en Empalme por Fusión             | dB                               | $< 0.08^*$                    | OTDR  |
|                            | Pérdida en Empalme Mecánico               | dB                               | $< 0.10^*$                    |   |
|                            | Pérdida en Conectores FC/LC/SC (APC, UPC) | dB                               | $< 0.25^*$                    |   |
|                            | Perdida total (O-D/D-O)                   | dB                               | $\alpha_t < \alpha_c^*$       |   |
|                            | Perdida por retorno óptico (P.R.O.)       | dB                               | $\geq 27^*$                   |   |
| Atenuación (Inserción)     | Pérdida Total del enlace                  | dB                               | $\alpha_{ti} < \alpha_{cn}^*$ | Fuente de luz estabilizada<br>Medidor de potencia                 |
| Análisis de PMD            | Dispersión por Modo de Polarización PMD   | Coficiente de PMD                | $C_{PMD} <$                   | Analizador de PMD<br>Fuente Polarizada 1460-1640nm                |
| Análisis de DC             | Dispersión Cromática                      | Valor Límite de DC (ps/nm)       | VLDC $<$                      | Analizador de Dispersión Cromática<br>Fuente Modulada 1260-1640nm |

Dónde:

- Promedio en ambos sentidos.
- $\alpha_t$  =Atenuación total del enlace o sección del enlace medida en dB.
- $\alpha_{ti}$  =Promedio de los valores de pérdida por inserción.

### 3.9 Parámetros y valores de atenuación

En la construcción, operación y mantenimiento de enlaces de fibra óptica se requieren de mediciones técnicas para verificar las características de los mismos, desde cada uno de sus componentes, hasta la transmisión, debiendo cumplir con los parámetros y valores establecidos en el Protocolo # 9.

- **Parámetros**

Los parámetros a considerar para realizar la medición y pruebas de enlaces de fibra óptica son las siguientes:

- Longitud de onda
- Ancho de banda
- Índice de refracción
- Atenuación

Tabla 3.6 Valores para realizar la medición y pruebas de enlaces de fibra óptica

| Parámetro            | Unidad                                     |
|----------------------|--|
| Longitud de onda     | De 800 a 1600 nanómetros                   |
| Ancho de banda       | Bits por segundo                           |
| Ancho de pulso       | Segundos, milisegundos y microsegundos.    |
| Índice de refracción | Depende del tipo de dispersión de la fibra |
| Atenuación           | Decibeles, dB                              |

Los valores de atenuación deben cumplir con lo establecido en el protocolo #9, los cuales son:

- Atenuación lineal

- Atenuación lineal promedio
- Atenuación promedio por empalme
- Atenuación promedio por acoplamiento de conectores
- Atenuación por divisor

Para nuestro caso el **valor máximo de atenuación permitido para el enlace es de: 28 dB.**

- **Valores de atenuación en el enlace**

La siguiente tabla muestra las pérdidas por cada elemento de la red de fibra a la casa.

Tabla 3.7 Valores de pérdida por cada elemento.

| Elemento           | Pérdida   |
|--------------------|---|
| Conector           | 0.25 dB   |
| Empalme por fusión | 0.08 dB   |
| Fibra Óptica       | 0.35 dB/Km. @ 1310 nm                           |
| Divisor            | 1:8=10.50 dB<br>1:32=17.50dB<br>1:64 = 21.00 dB |

Las figuras 3.25 y 3.26 muestran lo anteriormente descrito:

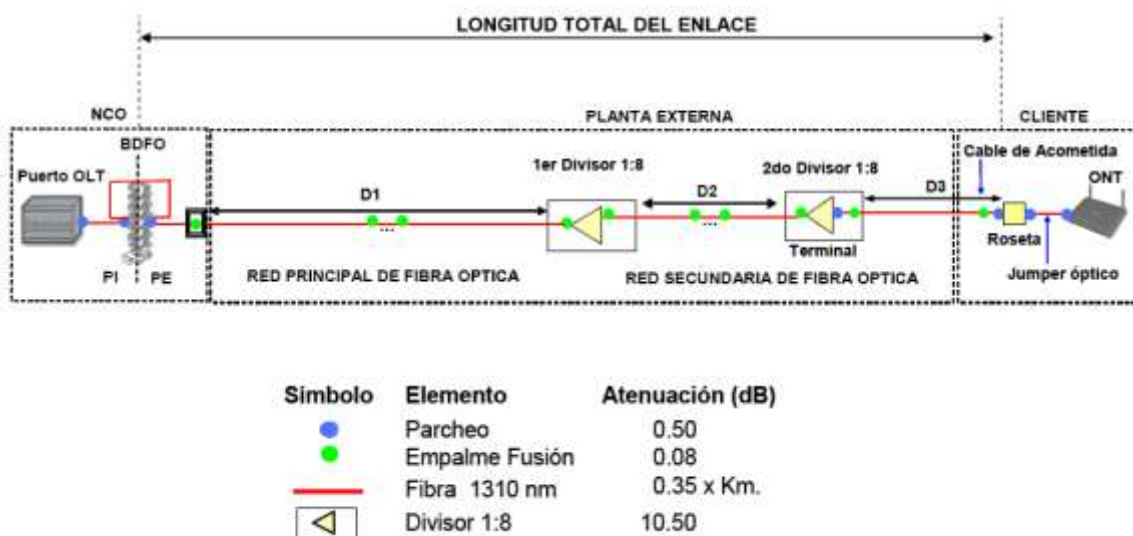
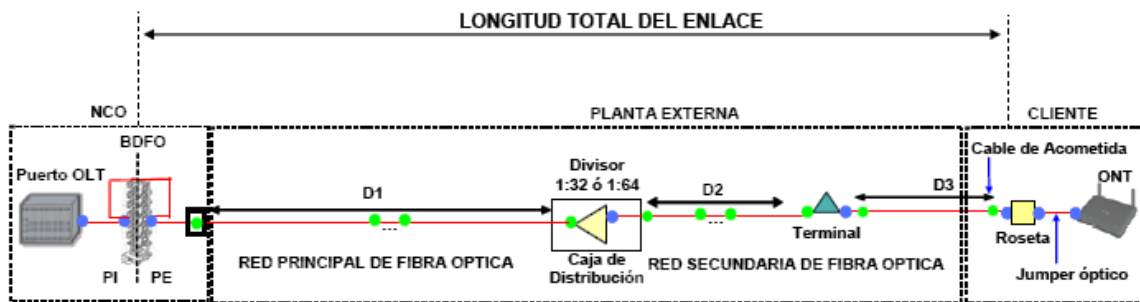


Figura 3.25. Atenuación en Red Centralizada



| Símbolo | Elemento       | Atenuación (dB) |
|---------|----------------|-----------------|
| ●       | Parqueo        | 0.50            |
| ●       | Empalme Fusión | 0.08            |
| —       | Fibra 1310 nm  | 0.35 x Km.      |
| ◁       | Divisor 1:32   | 17.50           |
| ◁       | Divisor 1:64   | 21.00           |

Figura 3.26 Atenuación en Red Distribuida.

## Conclusiones

Una red PON ha revolucionado las comunicaciones al no tener elementos eléctrico-electrónicos en algunos de sus enlaces; al inicio podría tornarse un poco costoso ya que el equipo y herramienta para su instalación y mantenimiento de estas redes es de un costo muy elevado aunque desde otro punto de vista podemos deducir que no serán necesarios repetidores de señal en tan corta distancia, además que con una sola fibra óptica podemos dar servicio a 64 clientes mediante los divisores ópticos (splitters) utilizados en esta red.

El uso de splitters en la red PON es un elemento indispensable para lograr el servicio a un número mayor de clientes, con un número menor de cables y sin perder la eficiencia y el ancho de banda ya que este dispositivo no afecta la calidad del servicio.

Al tener 64 usuarios con una sola fibra óptica es necesario que tomemos en cuenta que al ser una tecnología demasiado avanzada debemos tomarla con gran seriedad y no minimizar o ignorar las opciones y grandes ventajas que ésta nos da; en este caso particular utilizamos el empalme por fusión de arco con los splitters 1:8 ya que es la concesión permitida por el carrier correspondiente y este elemento no afectara en la transmisión de datos ya que su atenuación está dentro de los rangos permitidos.

Los parámetros establecidos se deben llevar acabo para obtener un empalme de calidad y así mismo tener la menor atenuación posible para tener una buena transmisión ya sea de voz, datos o video.

Otra ventaja muy importante es que al utilizar la fibra óptica no se necesita tener dos fibras para realizar una comunicación ya que las fibras ópticas son bidireccionales esto es que transmite y recibe información al mismo tiempo.

## Bibliografía

1. **Amezquita** Martínez Carlos, Seminario GPON, Inttelmex Año 2011, Capitulo dos, FTTH, Sistemas de acceso, pp. 2-1 a 2-10
2. **Cisneros** Hernández Jorge M. FTTH FIBER TO THE HOME CON GPON FTTH Council [Online]. Available: <http://www.ftthcouncil.org>
3. **Norma** de Construcción Instalación de Línea de Cliente, N/03/005.
4. **Norma** de Instalación de la Red de Usuario para Líneas ADSL 2+ de los Servicios de Voz, Datos y Video. N/03/023.
5. **Norma** Oficial Mexicana (NOM 001SEDE-1999 "INSTALACIONES ELECTRICAS" (UTILIZACIÓN))
6. **Inttelmex**, Seminario GPON Nueva Tecnología, 2008

## Referencias electrónicas

- <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion>
- <http://www.cienciapopular.com/n/Tecnologia/Laser/Laser.php>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo\\_de\\_Brewster](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_de_Brewster)
- <http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/instrumentacion/medida-con-fibra-optica/fibra-optica---dispersion-estimulada-de-brillouin/>
- <http://www.knoow.net/es/cieeconcom/gestion/capex.htm>
- [http://translate.google.com.mx/translate?hl=es419&sl=en&u=http://www.corning.com/optical\\_fiber/&prev=/search%3Fq%3Dcorning%2Bfibra%26hl%3Des-419%26biw%3D1366%26bih%3D653](http://translate.google.com.mx/translate?hl=es419&sl=en&u=http://www.corning.com/optical_fiber/&prev=/search%3Fq%3Dcorning%2Bfibra%26hl%3Des-419%26biw%3D1366%26bih%3D653)
- [http://www.ehowenespanol.com/alternativas-saludables-alcohol-isopropilico-lista\\_128344/](http://www.ehowenespanol.com/alternativas-saludables-alcohol-isopropilico-lista_128344/)