EL CANAL ÓPTICO: LA FIBRA ÓPTICA

Contenido

1.- Sistemas ópticos de comunicación.
2.- La fibra óptica.
3.- Naturaleza de la luz.
4.- Modos de propagación en la fibra óptica.
5.- Cable de fibra óptica.



Objetivo

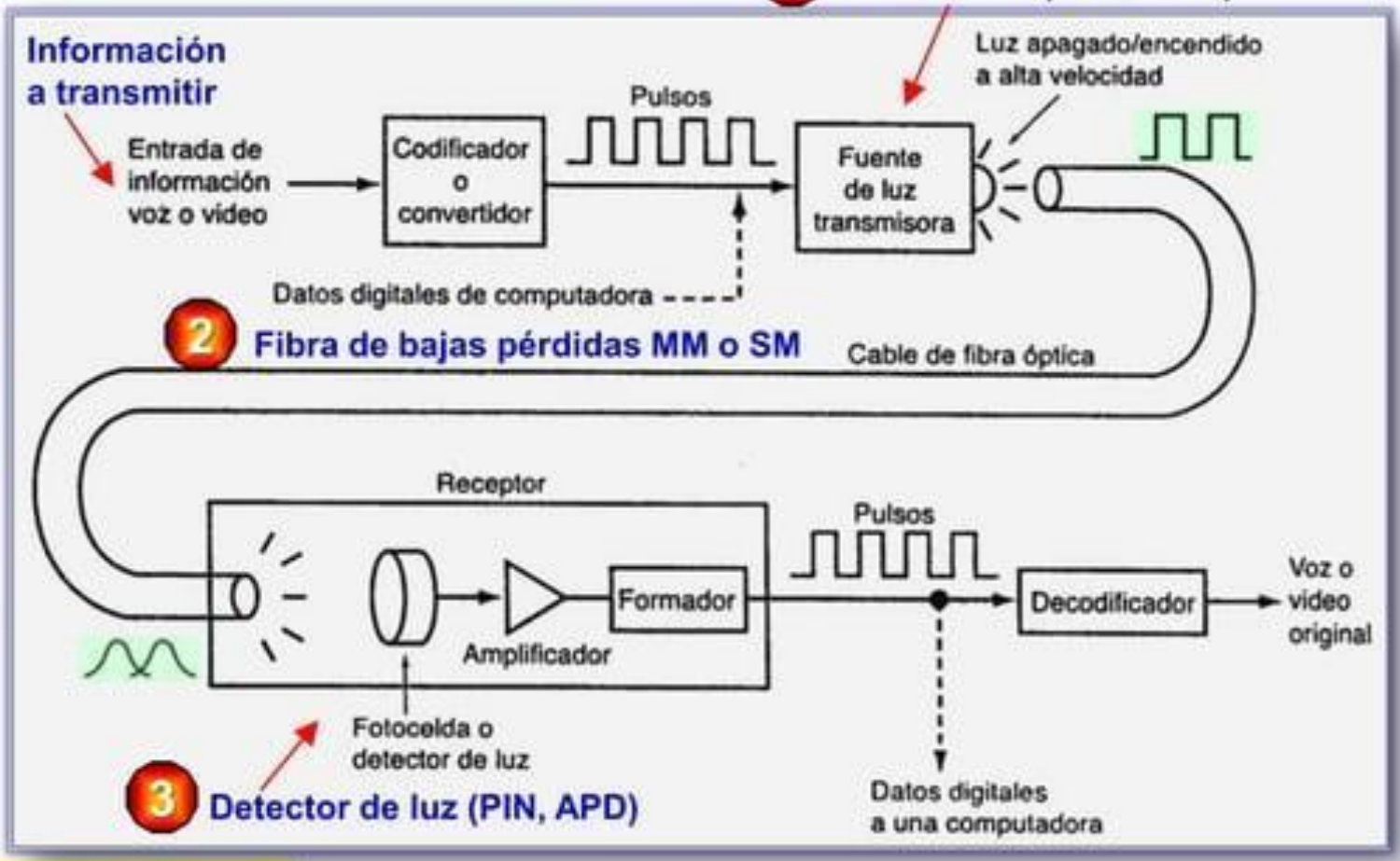
Describir el estado del arte de la comunicación por fibra óptica. Explicar cómo se propaga la luz en una fibra y la operación de los 3 tipos de fibra, comparando su desempeño.

1.- Sistemas ópticos de comunicación

Se puede transmitir luz por una fibra óptica

Sistema óptico básico





Sistema óptico bidireccional

Un **sistema óptico bidireccional** se forma implementando un segundo grupo idéntico de dispositivos de modulación y detección en sentido opuesto.

Los pulsos digitales se convierten a pulsos de luz

Capacidad de los sistemas ópticos

Visión de la tecnología óptica

No existe un mejor medio físico conocido que la **fibra óptica**, y ninguna señal fuente mejor que la **luz** para resolver los nuevos y emergentes requerimientos de transmisión" … "la fibra óptica es un medio de propagación a prueba de **futuro**" (Editorial Revista IEEE, marzo 2000).

Estado del arte al 2011



- Un **láser** es capaz de emitir 10^{16} fotones/s.
- Un buen **fotodetector** distingue un bit "1" con 10 fotones

Por tanto, se dispone de una **capacidad de transmisión** de 10^{15} bps es decir, **1 Pbps**.

Esta **capacidad de transmisión** (ancho de banda) está limitada sólo por la **tecnología disponible** de generación y de recepción de la señal.

Además, la **distancia** de transmisión es significativamente grande por la **baja atenuación** que presenta la fibra. Una señal óptica se transmite a lo largo de muchos km sin necesidad de regeneración.

La fibra tiene un ancho de banda ilimitado.

Desarrollo de las tecnologías ópticas

Garantizan al acceso a altas velocidades

Altas velocidades en el acceso

Fibra óptica: la UPV coordina un proyecto europeo para ofrecer conexiones de 10 Gbps

Fuente: EFE. 11 de octubre de 2010.

La Universidad Politécnica de Valencia coordina un proyecto europeo para ofrecer conexiones a Internet de 10 Gbps a cada usuario y que dotará de "inteligencia" a la red de transmisión de datos a través de una "nueva arquitectura del entramado de fibra óptica".

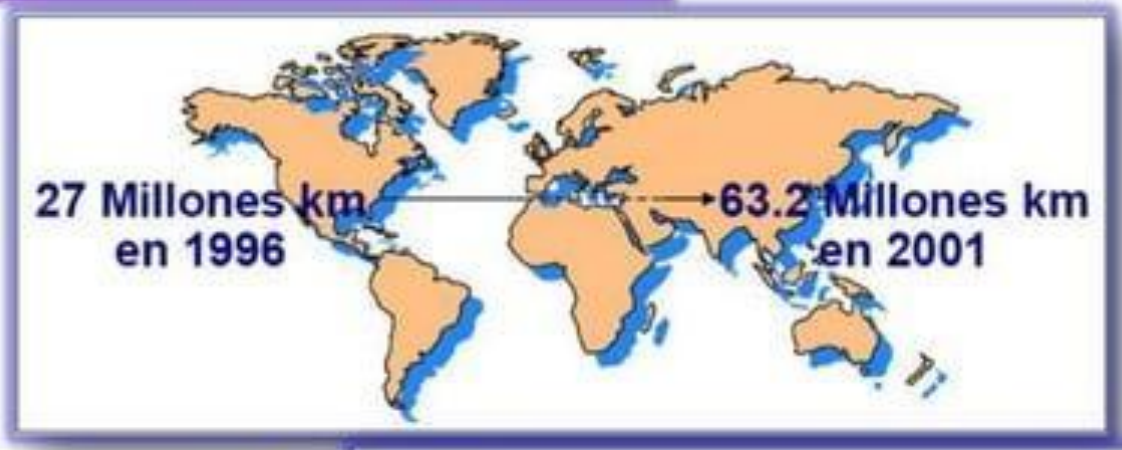


Según ha informado la Politécnica en un comunicado, el desarrollo de este proyecto permitirá mejorar los servicios de Internet, telefonía convencional, televisión y conectividad sin cables (wi-fi), además de nuevos avances en servicios de seguridad y control en el hogar.

La red de transporte óptica muy pronto superará los 400 Gbps.

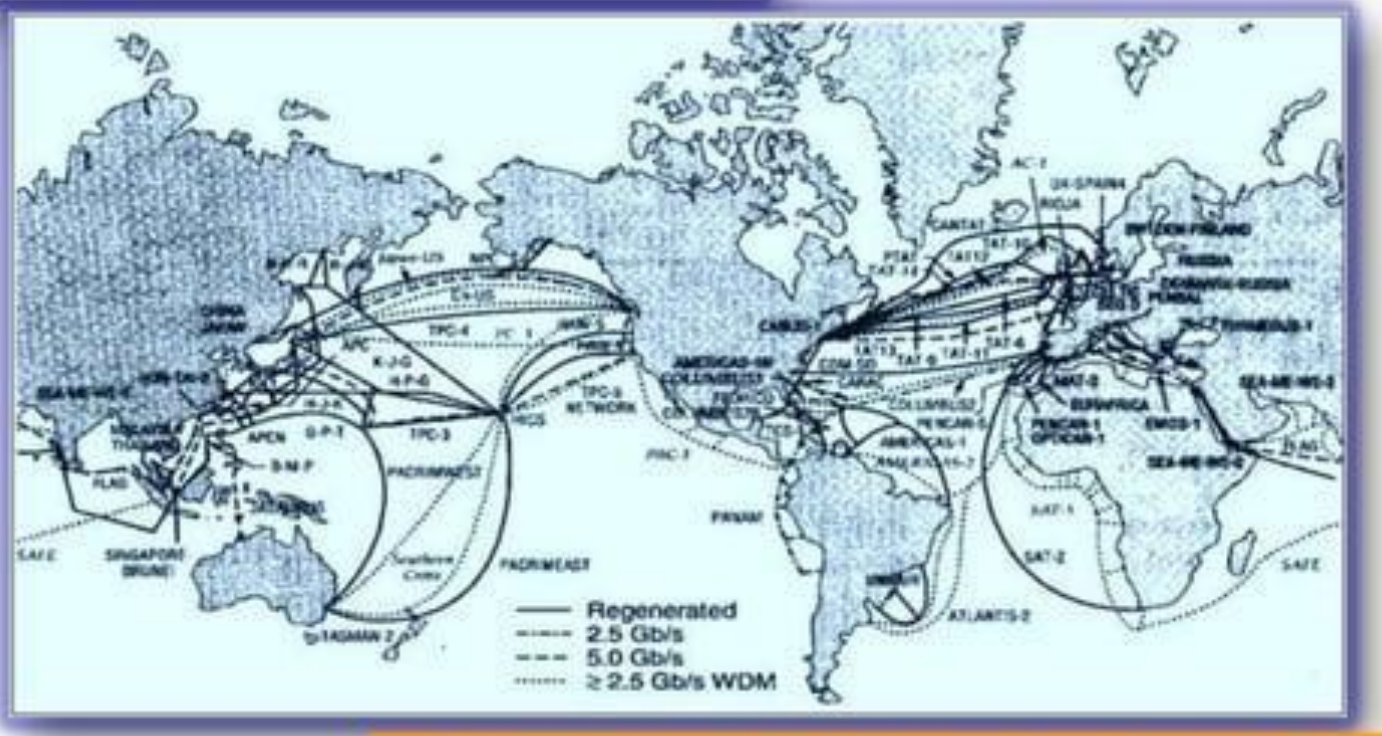
Redes de fibra óptica en el mundo

Crecimiento a nivel mundial



Al 2011 sobrepasan los 100 millones de km.

Cables ópticos submarinos



La ocupación del total de fibras no sobrepasa el 20%

Redes de fibra óptica en América Latina

Existen varios proveedores de red

Cable submarino de fibra óptica
Proyecto Nautilus.



Redes ópticas en Bolivia.



Los dueños son empresas proveedoras de fibra.

Redes de fibra óptica en una ciudad

En Santa Cruz de la Sierra

Anillos ópticos de COTAS



Otros operadores como Entel y AXE también tienen anillos ópticos.

Aplicaciones de los sistemas ópticos

Redes troncales

- Los cables de fibra óptica se encuentran en las **redes troncales (redes de transporte)** porque su gran ancho de banda es rentable frente al costo. Actualmente, con multiplexación por longitud de onda densa (**DWDM**), se pueden transportar datos a una velocidad de 160 Gbps. La red SONET/SDH proporciona esta troncal.

Redes HFC

- Las compañías de TV por cable usan una combinación de fibra óptica y de cable coaxial, creando una **red híbrida HFC**. Las fibras proporcionan la estructura troncal mientras que el coaxial proporciona la conexión a los domicilios de los usuarios. Esta configuración es rentable porque el bajo ancho de banda que necesita el usuario aún no justifica plenamente el uso de fibra óptica.

Redes LAN

- Las **redes de área local** (LAN) como las 100Base-FX (Fast Ethernet) y 1000Base-X también usan cables de fibra óptica.

Redes de acceso

- Las empresas de telecomunicaciones están definiendo avanzadas redes convergentes basadas en IP, que permiten ofrecer más servicios sobre la misma infraestructura. Entre las tecnologías más interesantes que están permitiendo esta convergencia cabe destacar, en la parte del bucle de abonado, a **GPON** (*Gigabit Passive Optical Network*), la tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto.

2.- La fibra óptica

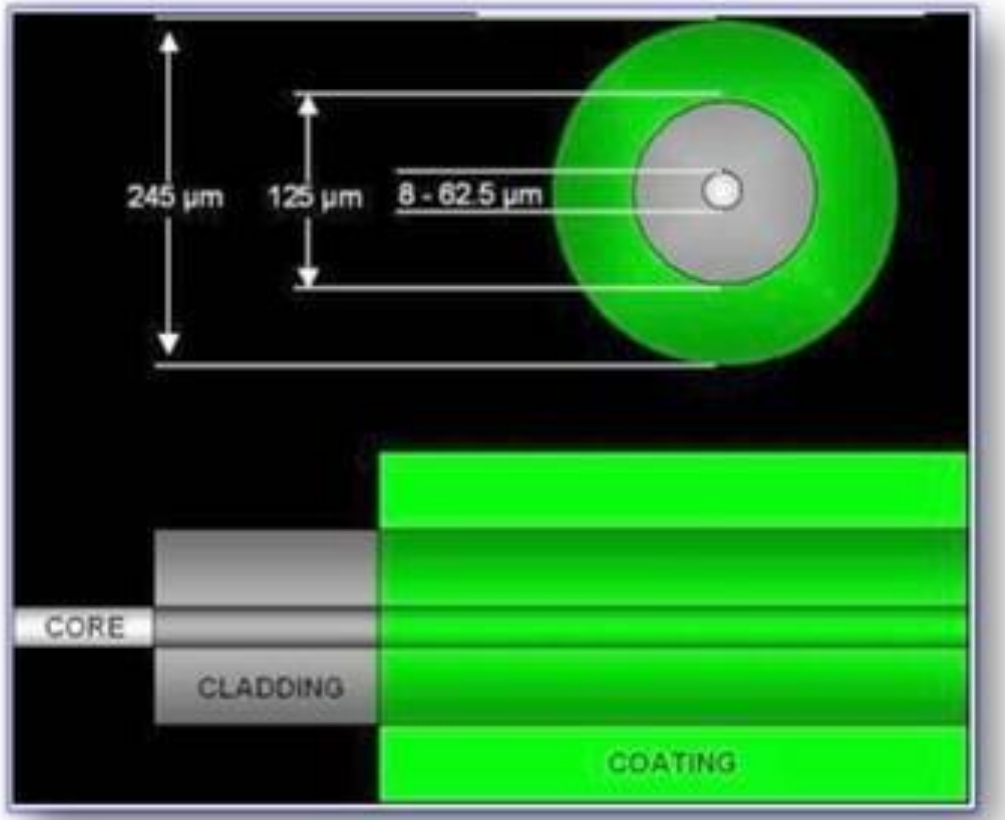
¿Qué es la fibra óptica?

Es un hilo de vidrio y plástico compuesto por 3 capas concéntricas que difieren en propiedades.

1. **Núcleo (core)**. Es un hilo de vidrio fabricado con SiO_2. Conduce la luz. De 8 a 62,5 µm de diámetro.

2. **Revestimiento (cladding)**. Es un tubo de vidrio fabricado con SiO_2, de distinta densidad óptica que el núcleo. Confina la luz dentro del núcleo. De 125 µm de diámetro.

3. **Color (coating)**. Es un buffer o amortiguador de plástico. Protege al núcleo y al revestimiento de cualquier daño. De 245 µm de diámetro.



¿Qué tan gruesa es la fibra?

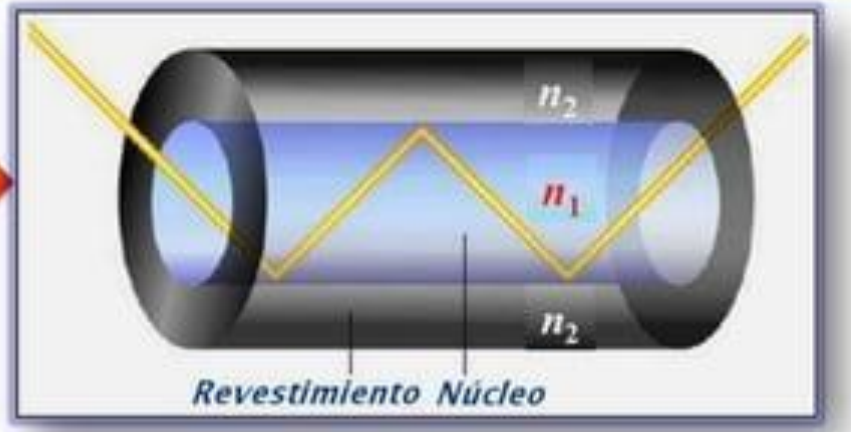
Tiene dimensiones similares a la del cabello humano que tiene un diámetro de 75 µm.

Por ser dieléctrica, el ruido electromagnético no le afecta.

Diseño básico de una fibra óptica

¿Cómo trabaja la fibra óptica?

- El **rayo de luz** se enciende y se apaga para transportar datos por una fibra (**1**'s y **0**'s).
- El **rayo** ingresa al **núcleo** y debe permanecer en él hasta que llegue al otro extremo.
- El **rayo** no debe refractarse en el revestimiento porque eso significaría perder parte de su energía.



Es necesario, por tanto, lograr un diseño de fibra en el que:

- El **revestimiento** actúe como un **espejo** para el rayo de luz.
- Y el **núcleo** se comporte como una **guía de ondas** para el rayo de luz.



¿Cómo diseñar una fibra óptica?

Las **leyes de reflexión** y **de refracción** orientan cómo diseñar una fibra que guíe las ondas de luz con una mínima pérdida de energía:

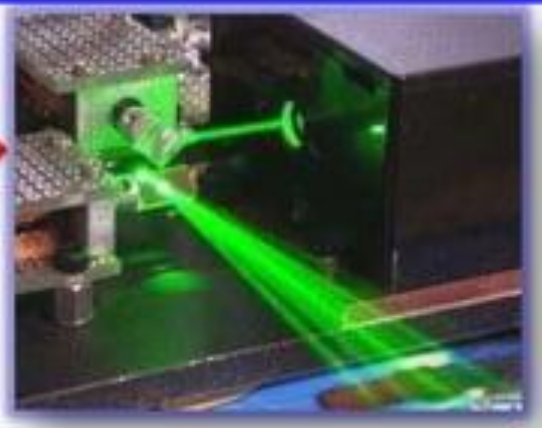
- El **núcleo** debe tener una **densidad óptica** mayor que la del **revestimiento** para que ocurra el fenómeno de la **reflexión interna total**.

El revestimiento confina la luz en el núcleo.

Índice de refracción de las sustancias

Modelo de rayo de luz

Las ondas electromagnéticas, como **la luz**, se alejan de la fuente viajando en **líneas rectas**. Estas líneas reciben el nombre de **rayos**.



En el vacío, la luz viaja a **300.000 km/s**, pero en otras sustancias como el aire, el agua y el vidrio, lo hace a menores velocidades debido a que ópticamente son más densas.

La **densidad óptica** de una sustancia se refiere a cuánto la **velocidad** del rayo de luz disminuye al atravesarla. Cuanto mayor sea, más se desacelera la luz en relación a su velocidad en el vacío.

La medida de la densidad óptica es el índice de refracción

El **índice de refracción** (***n***) de una sustancia se define como la velocidad de la luz en el vacío dividido por la velocidad de la luz en esa sustancia.

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

- n = índice de refracción de la sustancia.
- c = 300.000 km/s. Velocidad de la luz en el vacío.
- v = velocidad de la luz en la sustancia. En km/s.
- ε_r = permitividad relativa de la sustancia.

Valores para sustancias comunes

Sustancia	Índice de refracción
Aire	1.000
Vidrio	1.523
Diamante	2.419
Agua	1.333

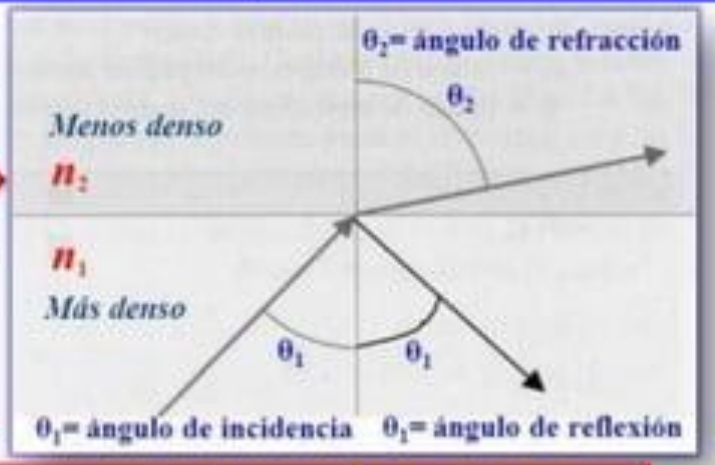
En el **vidrio**, es posible aumentar el **índice de refracción** agregándole productos químicos. Si se produce un vidrio muy puro, se reduce el **índice de refracción**.

Una sustancia con mayor ***n*** es más densa y desacelera más la luz.

Reflexión y refracción de la luz en la fibra óptica

Leyes de reflexión y de refracción de la luz

Cuando un rayo de luz (**rayo incidente**) toca la frontera entre 2 sustancias de **distinta densidad**, se divide en 2 partes:

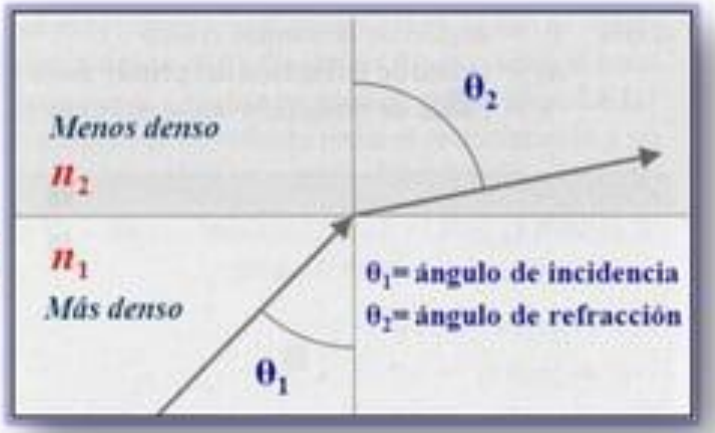


1. Una parte se refleja a la primera sustancia (**rayo reflejado**), con un **ángulo de reflexión** igual al ángulo de incidencia.

2. La energía restante cruza la frontera y penetra a la segunda sustancia (**rayo refractado**), pero se desvía de su trayecto original con un **ángulo de refracción** que depende del ángulo de incidencia y de los índice de refracción de las dos sustancias.

Ley de Refracción de Snell

En 1626 se formula la **Ley de Snell** que establece la relación entre los **ángulos de incidencia** y de **refracción** de un rayo que incide en la frontera entre dos sustancias con diferentes **indices de refracción**.



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

- n_1 = índice de refracción de la sustancia 1.
- n_2 = índice de refracción de la sustancia 2.
- θ_1 = Ángulo de incidencia. En °.
- θ_2 = Ángulo de refracción. En °.

La luz al pasar a un medio menos denso aumenta su velocidad

www.coimbraweb.com

Ángulo crítico de la fibra óptica - Ejercicios

Ejercicio 1

Ley de Snell. Una fibra tiene un índice de refracción de 1.6 para el núcleo y 1.4 para el revestimiento. Si el rayo incidente toca la frontera con un ángulo de incidencia de 30º, calcule el ángulo de refracción con el que se desvía el rayo en el revestimiento.



Respuesta.- *$\theta_2 = 34{,}8º$. El rayo se refracta; al entrar al otro medio menos denso, aumenta su velocidad y cambia de dirección.*

Ejercicio 2

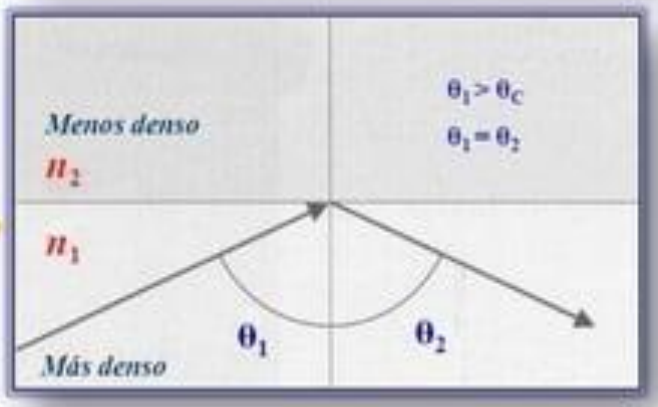
Ángulo crítico. Una fibra tiene un índice de refracción de 1.6 para el núcleo y 1.4 para el revestimiento. Calcule el ángulo de incidencia (**ángulo crítico**) con el cual el rayo debe tocar la frontera para que el rayo refractado se propague a lo largo de dicha la frontera.



Respuesta.- *$\theta_1 = \theta_C = 61º$. El ángulo crítico se calcula para un ángulo de refracción $\theta_2 = 90º$.*

Ejercicio 3

Reflexión interna total. Una fibra tiene un índice de refracción de 1.6 para el núcleo y 1.4 para el revestimiento. Si el rayo incidente toca la frontera con un ángulo de incidencia de 70º, calcule el ángulo de reflexión del rayo reflejado en el núcleo.



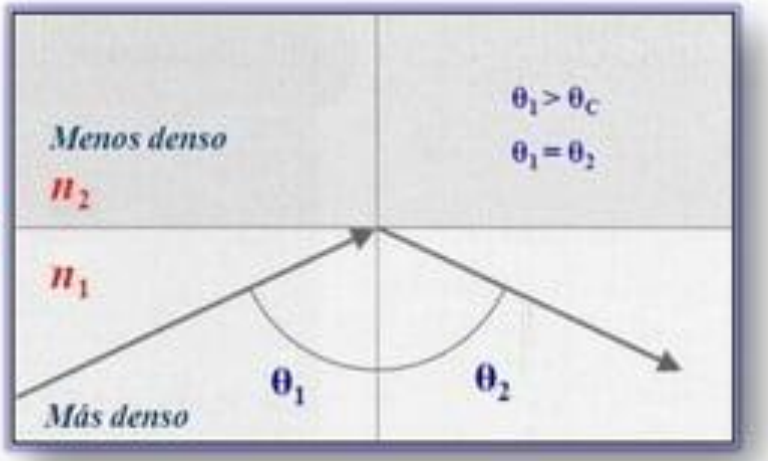
Respuesta.- *$\theta_2 = 70º$. Para ángulos de incidencia mayores que el ángulo crítico ($\theta_1 > \theta_C$), el rayo se **refleja** en la sustancia más densa con un ángulo de reflexión igual al incidente. Se produce la **reflexión interna total**.*

Reflexión interna total en la fibra óptica

Condiciones para la reflexión interna total

1. El núcleo debe tener un índice de refracción mayor que el del revestimiento ($n_1 > n_2$).

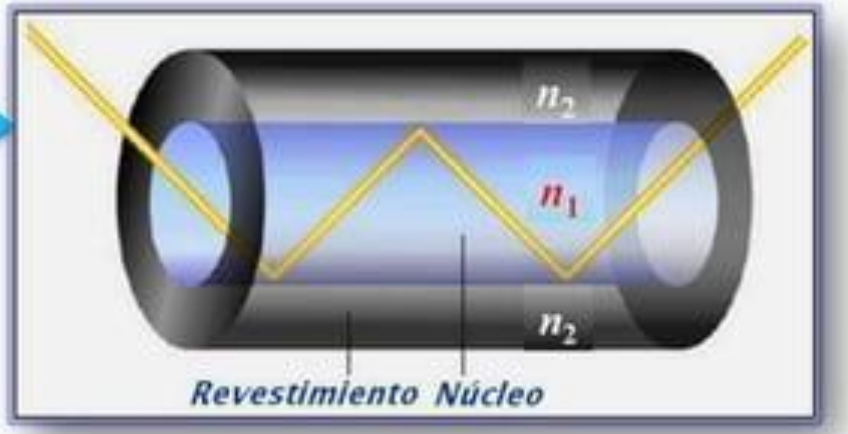
2. El ángulo de incidencia del rayo de luz debe ser mayor que el ángulo crítico para el núcleo y su revestimiento ($\theta_1 > \theta_C$).



Entonces, se produce la reflexión interna total

Si se cumplen estas dos condiciones, toda la luz que incide en la fibra se refleja dentro de ella; se produce la **reflexión interna total**, que es la base sobre la que se construye una fibra óptica.

La reflexión interna total hace que los **rayos de luz** dentro de la fibra **reboten** en el límite entre el núcleo y el revestimiento y que continúen su recorrido hacia el otro extremo de la fibra.



La luz sigue un trayecto en zigzag a lo largo del núcleo de la fibra.

Apertura numérica de la fibra óptica

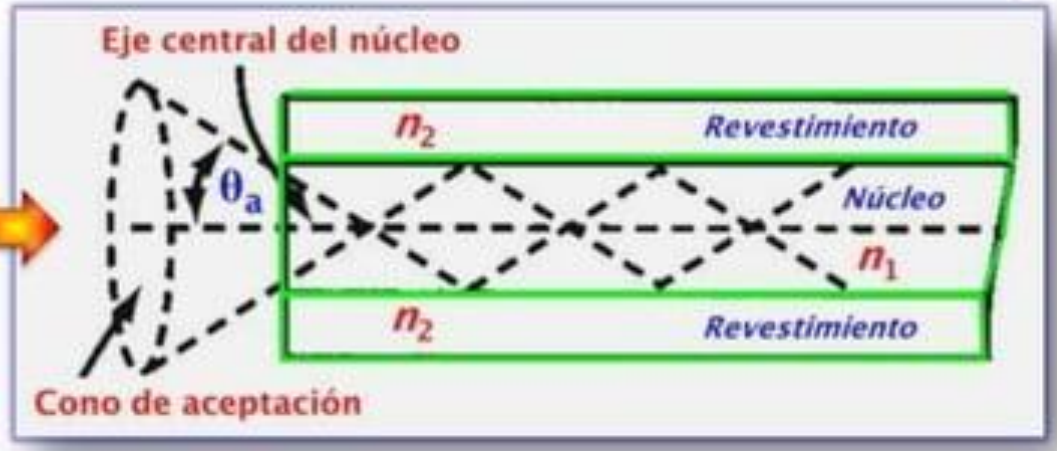
¿Cómo controlar el ángulo de incidencia?

Para que se produzca la reflexión interna total en una fibra, se debe controlar el **ángulo de incidencia** de los rayos de luz que entran al núcleo. Este control se efectúa restringiendo la **apertura numérica**.

¿Qué es la apertura numérica?

La **apertura numérica (NA)** del núcleo es el **rango** de ángulos de incidencia de los rayos de luz que ingresan a la fibra y que se reflejan internamente.

La fuente de luz se debe posicionar de tal modo que todos los rayos entren por un ***cono de aceptación*** imaginario.



$$NA = \text{sen}\ \theta_a$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

NA = apertura numérica de la fibra.
θ_a = Ángulo de aceptación. En °.
n_1 = índice de refracción del núcleo.
n_2 = índice de refracción del revestimiento.

Conexión típica de láser.



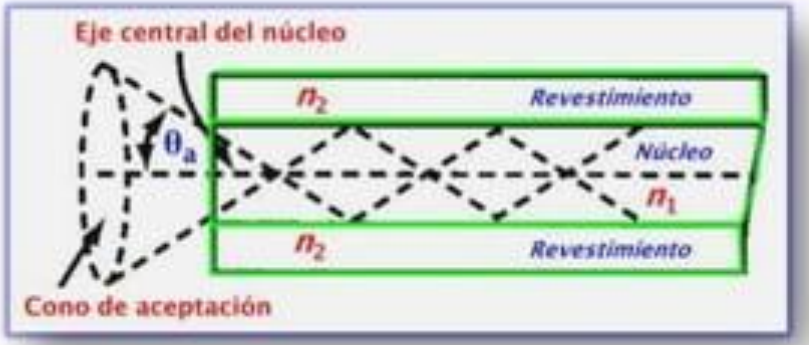
La NA típica para las fibras varía entre 0.1 y 0.5.

La fibra óptica - Ejercicios

Ejercicio 4

Apertura numérica. Calcule la apertura numérica y el ángulo de aceptación máxima (a partir de eje de la fibra) para una fibra que tiene un índice de refracción de 1.6 para el núcleo y 1.4 para el revestimiento.

Respuesta.- $NA = 0.77$ $\theta_a = 50{,}8°$



Ejercicio 5

Características de la fibra. Los índices de refracción del núcleo y del revestimiento de una fibra óptica son de 1.5 y 1.45, respectivamente. Calcule:

a) La velocidad de la luz en el núcleo.
b) El ángulo crítico para un rayo que se mueve del núcleo al revestimiento.
c) La apertura numérica de la fibra.
d) El ángulo máximo (a partir del eje de la fibra) en el que se acepta la luz

Respuesta.-

a) 200.000 km/s
b) 75°
c) 0,384
d) 22,6°

Ejercicio 6

Reflexión interna total . ¿Qué es la reflexión interna total? ¿En qué circunstancias ocurre?

Respuesta.-
Cuando el ángulo de incidencia es mayor que el crítico.

Ejercicio 7

Diseño de fibra. Suponga que lo han contratado para diseñar una fibra óptica. Cuenta, para ello, con dos tipos de vidrio: uno *A* con un índice de refracción de 1.3 y otro *B* con 1.5. Determine cuál vidrio debe utilizar como núcleo y cuál como revestimiento y calcule la apertura numérica que tendrá la fibra.

Respuesta.- *Núcleo: vidrio B y revestimiento: vidrio A.*
NA = 0.75

La apertura numérica la especifica el fabricante.

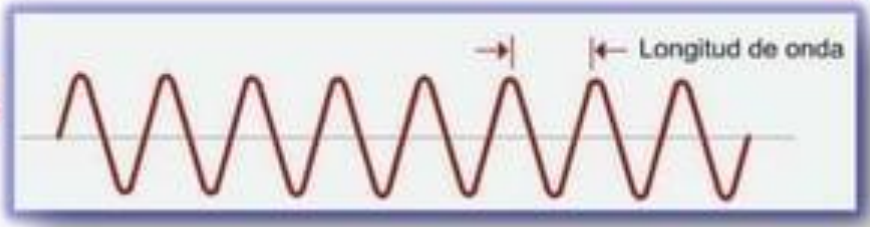
Los rayos que entran por el cono se propagan por la fibra.

3.- Naturaleza de la luz

¿Qué es la luz?

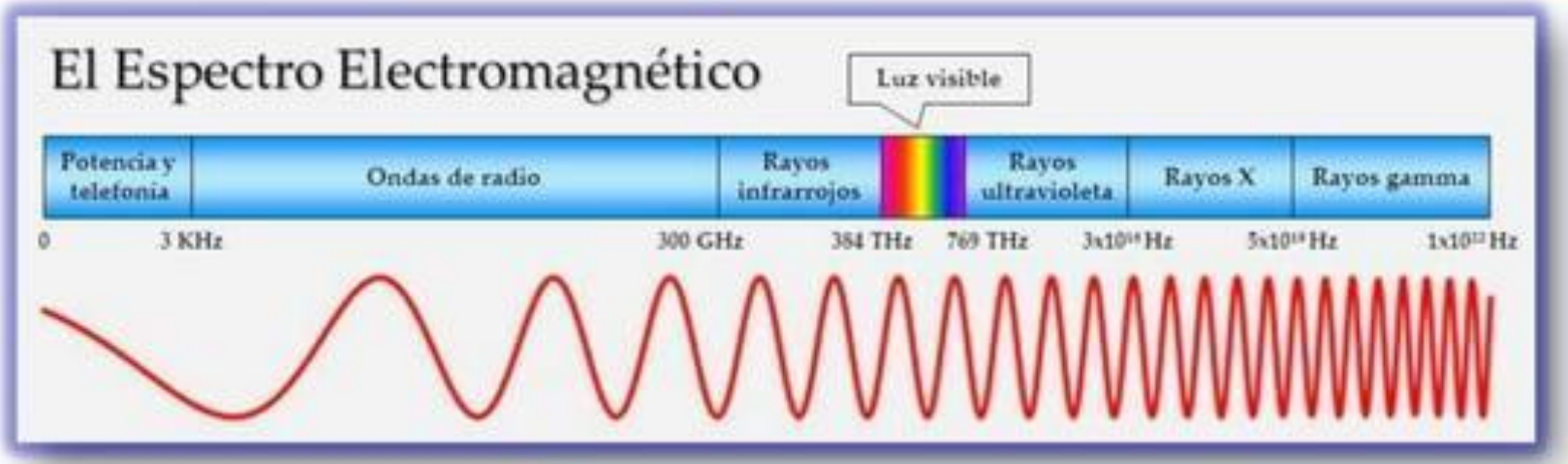
La **luz** es un tipo de **energía electromagnética**. Cuando una carga eléctrica se mueve hacia adelante y hacia atrás, produce una energía electromagnética.

Esta energía, en forma de **ondas**, puede viajar por el vacío, el aire y algunos materiales como el **vidrio**. Una propiedad importante de toda onda de energía es la **longitud de onda (λ)**.



El espectro electromagnético

Las ondas de radio, las microondas, la **luz** visible, los rayos X y los rayos gama parecen ser muy diferentes; sin embargo, todos son tipos de **energía electromagnética**. Si se ordenan desde la mayor longitud de onda hasta la menor, o desde la menor frecuencia de la onda a la mayor, se crea un continuo denominado **espectro electromagnético**.



A mayor frecuencia de la onda, menor longitud de onda

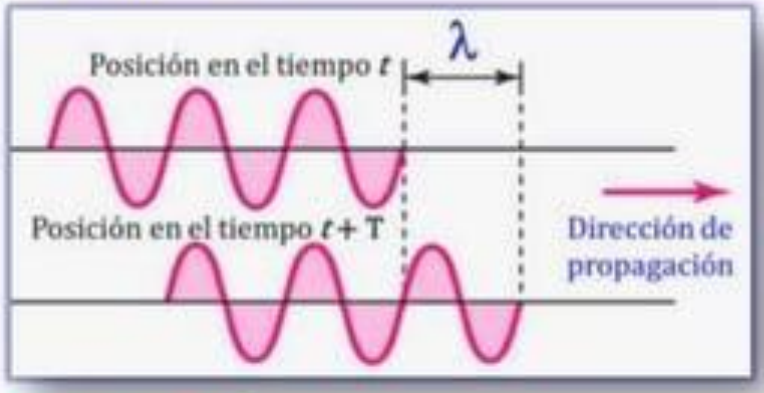
Longitud de onda de las ondas electromagnéticas

La longitud de onda y la frecuencia de la onda

La **longitud de onda** es determinada por la **frecuencia** a la que la carga eléctrica que genera la onda se mueve hacia adelante y hacia atrás. Si la carga se mueve lentamente, la longitud de onda es **larga**, si se mueve rápidamente, la longitud de onda es más **corta**.

Como todas las ondas electromagnéticas se generan de la misma manera, comparten muchas propiedades: todas viajan a **300.000 km/s en el vacío**. Esta es también la velocidad de la luz.

La relación entre la **frecuencia** a la que se genera la onda, la **longitud de onda** y la **velocidad de propagación** de la onda en el vacío es la siguiente:



$$v = \frac{d}{t} \Rightarrow c = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

- v = velocidad. En m/s.
- d = distancia. En m.
- t = tiempo. En s.

- c = velocidad de la luz. 300.000 km/s.
- λ = longitud de onda. En m.
- T = periodo. En s.
- f = frecuencia. En Hz.

Ejercicio 8

Longitud de onda. Una longitud de onda utilizada comúnmente en comunicación óptica es de 1550 nm. Calcule la frecuencia que corresponde a esta longitud de onda, suponiendo propagación en el vacío.

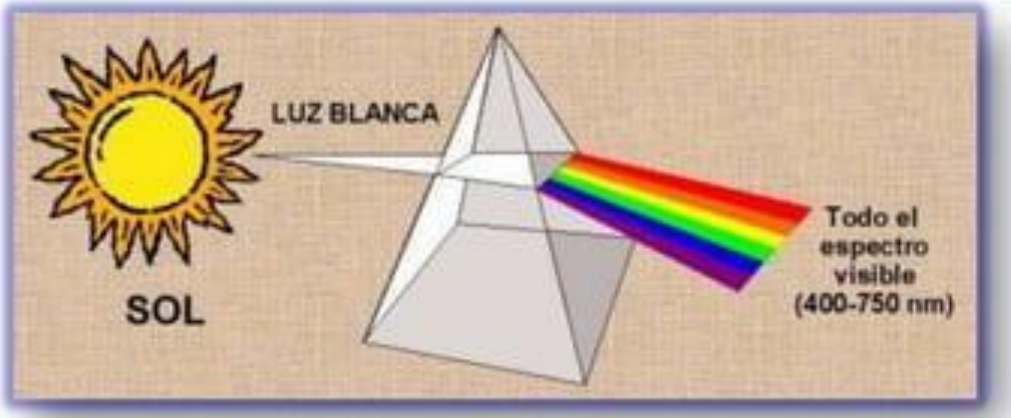
Respuesta.- *f = 193,6 THz*

En comunicación óptica se prefiere identificar a las ondas por su longitud de onda.

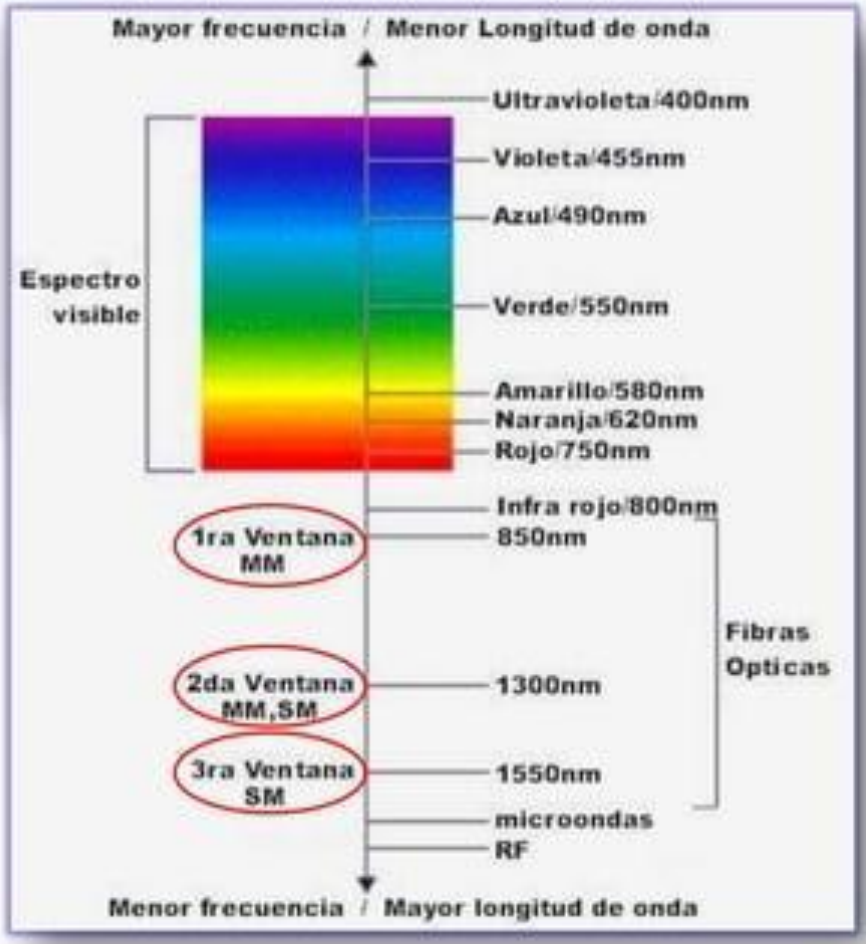
La luz visible e invisible

La luz blanca es la combinación de todos los colores

El ojo humano percibe solo la energía electromagnética de longitudes de onda de entre **400 y 750 nm**, por eso esta energía recibe el nombre de **luz visible**.



Las longitudes de onda de luz más largas (de **750 nm**), se perciben como el **color rojo**, las más cortas (de **400 nm**) como el color **violeta**.



La luz invisible para transmitir datos

Las longitudes de onda **invisibles** al ojo humano se utilizan para transmitir datos a través de una fibra. Estas longitudes de onda son más largas que la de la luz roja y reciben el nombre de **luz infrarroja**. Se identifican **3 ventanas de operación**.

Para transmitir datos se utilizan longitudes de onda de 859, 1310 y 1550 nm.

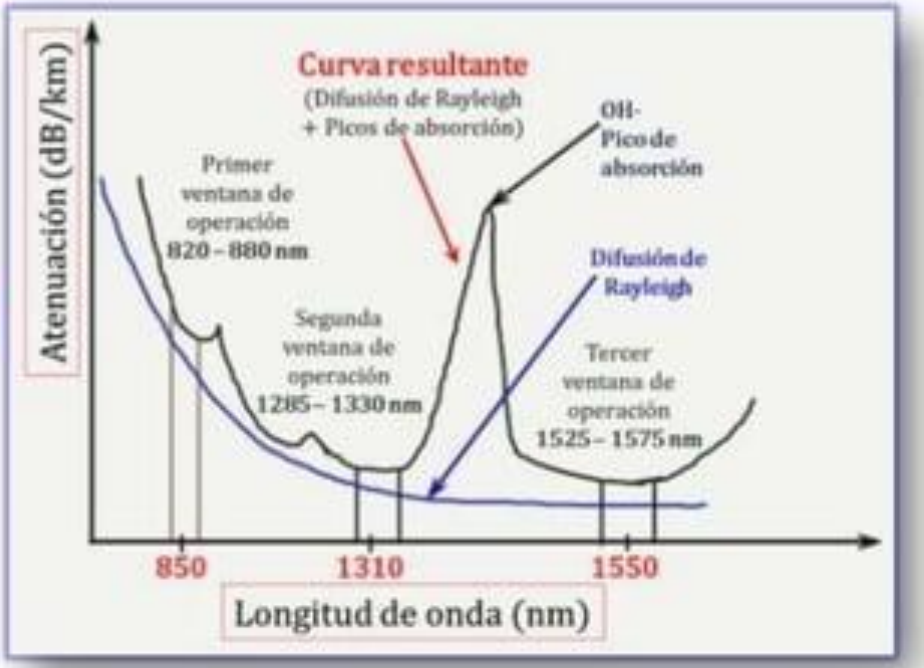
Ventanas de operación en la fibra óptica

Longitudes de onda operativas en una fibra

Las longitudes de onda operativas en una fibra son de **850 nm**, **1310 nm** y **1550 nm**.

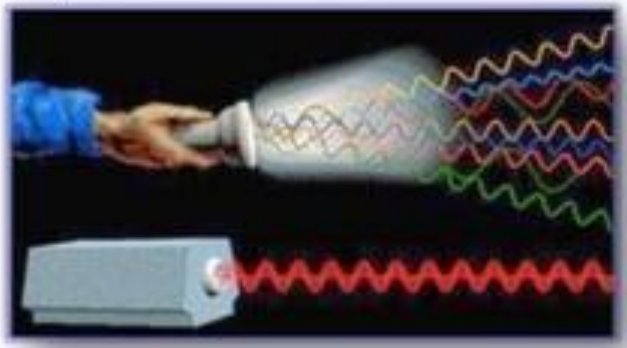
Se seleccionaron estas longitudes de onda porque se transmiten más fácilmente que otras por la fibra y presentan una **atenuación menor**. Se las conoce como **ventanas de operación**.

Para generar estas longitudes de onda se utilizan los **diodos LED** y los **diodos láser**, que emiten luz de un solo color (monocromáticos).



Comparación entre fuentes de luz

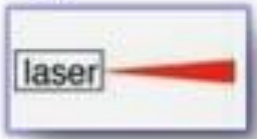
- *Entre una fuente **convencional** y un **LED** o **láser**.*



- *Entre una un **LED** y un **láser**.*



850 nm y
1310 nm



1310 nm y
1550 nm

Con los **láser** se puede transmitir datos a mayor distancia porque son más **directivos**, concentran más la potencia de luz.

Hay una cuarta ventana en desarrollo, de 1625 nm.

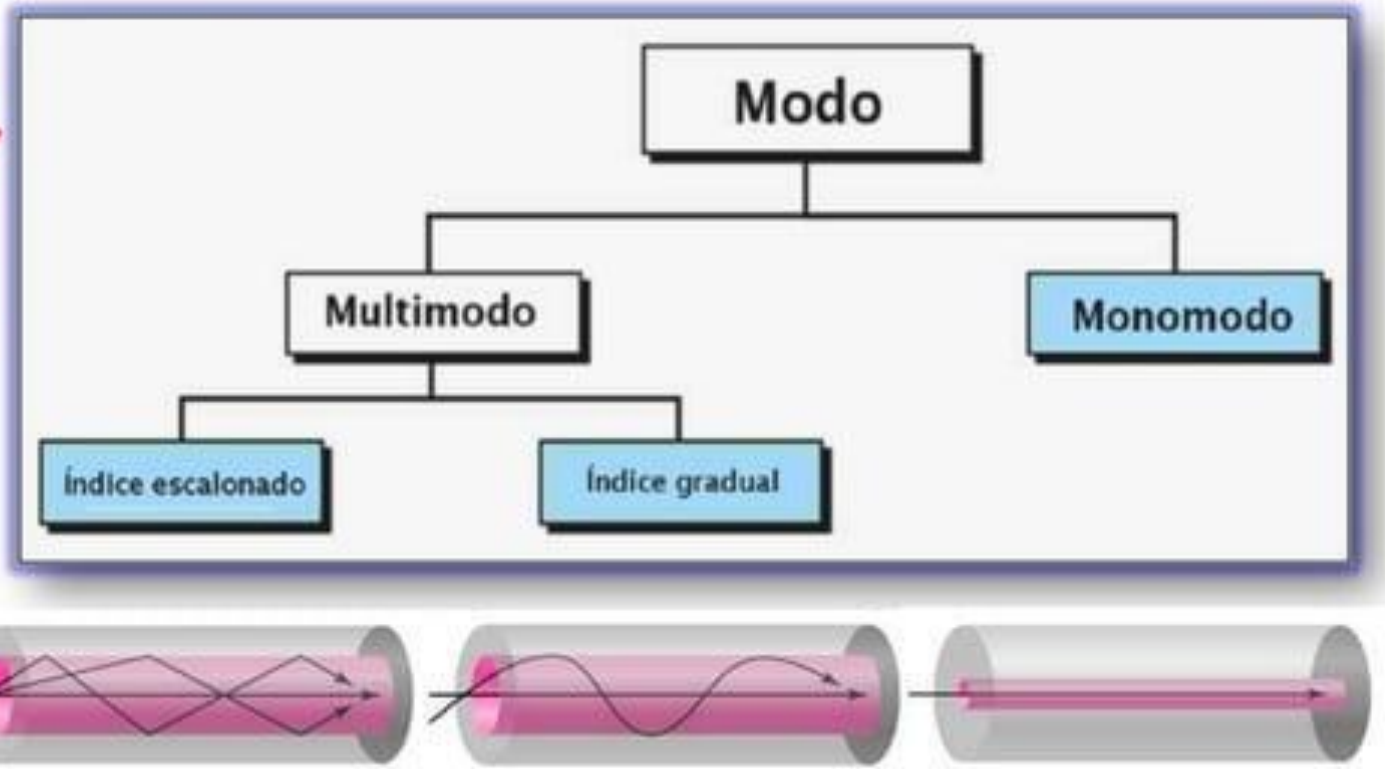
4.- Modos de propagación en la fibra óptica

¿Cómo se propaga la luz en una fibra?

Los **rayos de luz** ingresan al núcleo si el ángulo está comprendido en la **apertura numérica** de la fibra. En el núcleo, hay un número limitado de **trayectos** que puede seguir un rayo de luz. Estos trayectos reciben el nombre de **modos**.

Si el diámetro del núcleo es tan **grande** como para permitir **varios trayectos**, esta fibra recibe el nombre de **fibra multimodo**.

Por otro lado, la **fibra monomodo** tiene un núcleo tan **pequeño** que permite que los rayos de luz viajen por **un solo trayecto**.



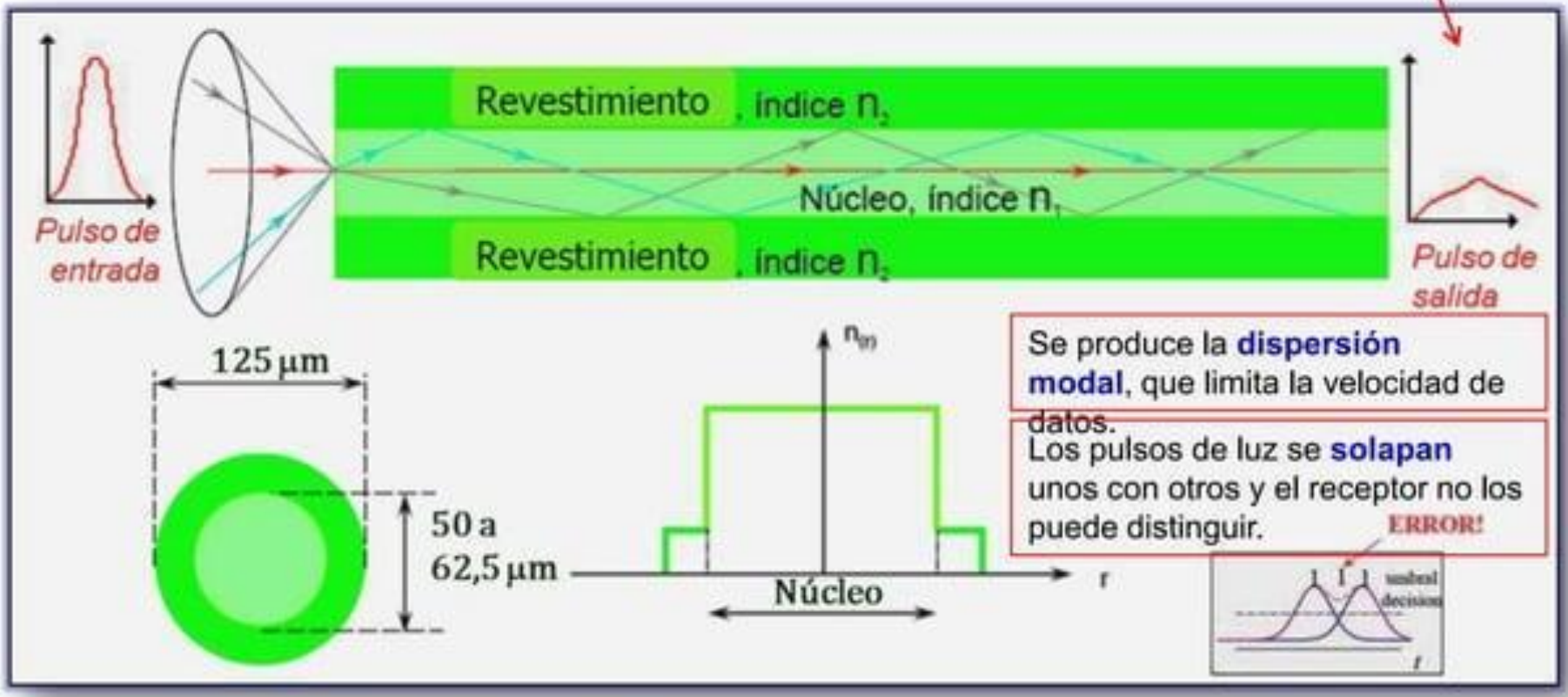
La multimodo MM se usa en distancias cortas.

La monomodo SM se usa en largas distancias.

Fibras multimodo MM de índice escalonado

Los rayos de luz viajan por diferentes trayectos (modos)

Los rayos de luz (generados por LED) viajan por **diferentes trayectos**, por eso llegan a destino en diferentes tiempos. En el extremo se recibe un **pulso largo y débil**.



El **núcleo** tiene un **índice de refracción** constante, desde el centro hasta sus bordes. En la frontera el cambio es abrupto (**escalonado**) a un índice de refracción menor.

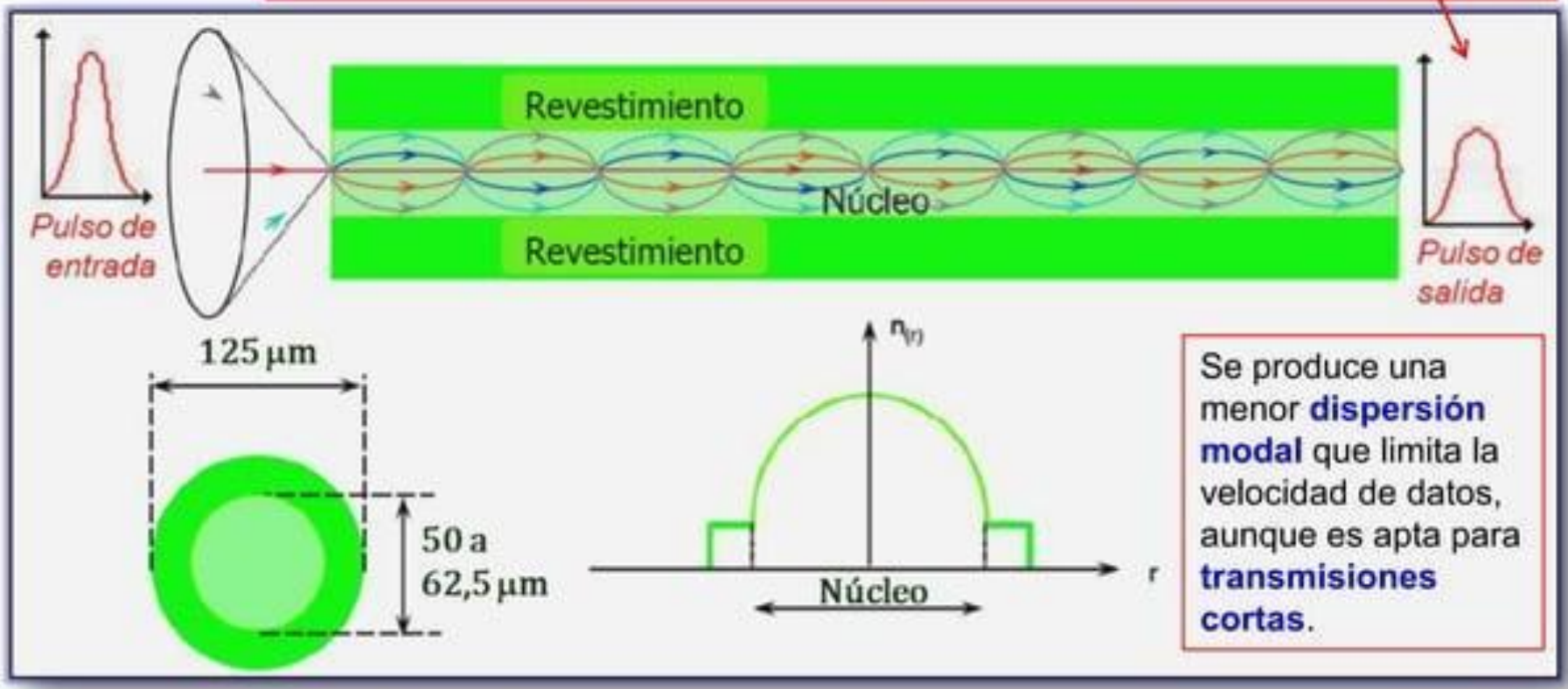
Esta fibra ya no se utiliza.

Los modos son trayectos de luz.

Fibras multimodo MM de índice gradual

Los rayos de luz viajan por diferentes trayectos (modos)

Los rayos de luz (generados por LED o láser) viajan por **diferentes trayectos**; a mayor velocidad en el área externa del núcleo, por eso llegan a destino casi al mismo tiempo. En el extremo de la fibra se recibe un fuerte flash de luz.



Se produce una menor **dispersión modal** que limita la velocidad de datos, aunque es apta para **transmisiones cortas**.

El **núcleo** tiene un **índice de refracción** mayor en el centro y decrece **gradualmente** hasta sus bordes, por tanto, el área externa del núcleo es ópticamente menos densa que en el centro y la luz puede viajar más rápidamente por esta área externa.

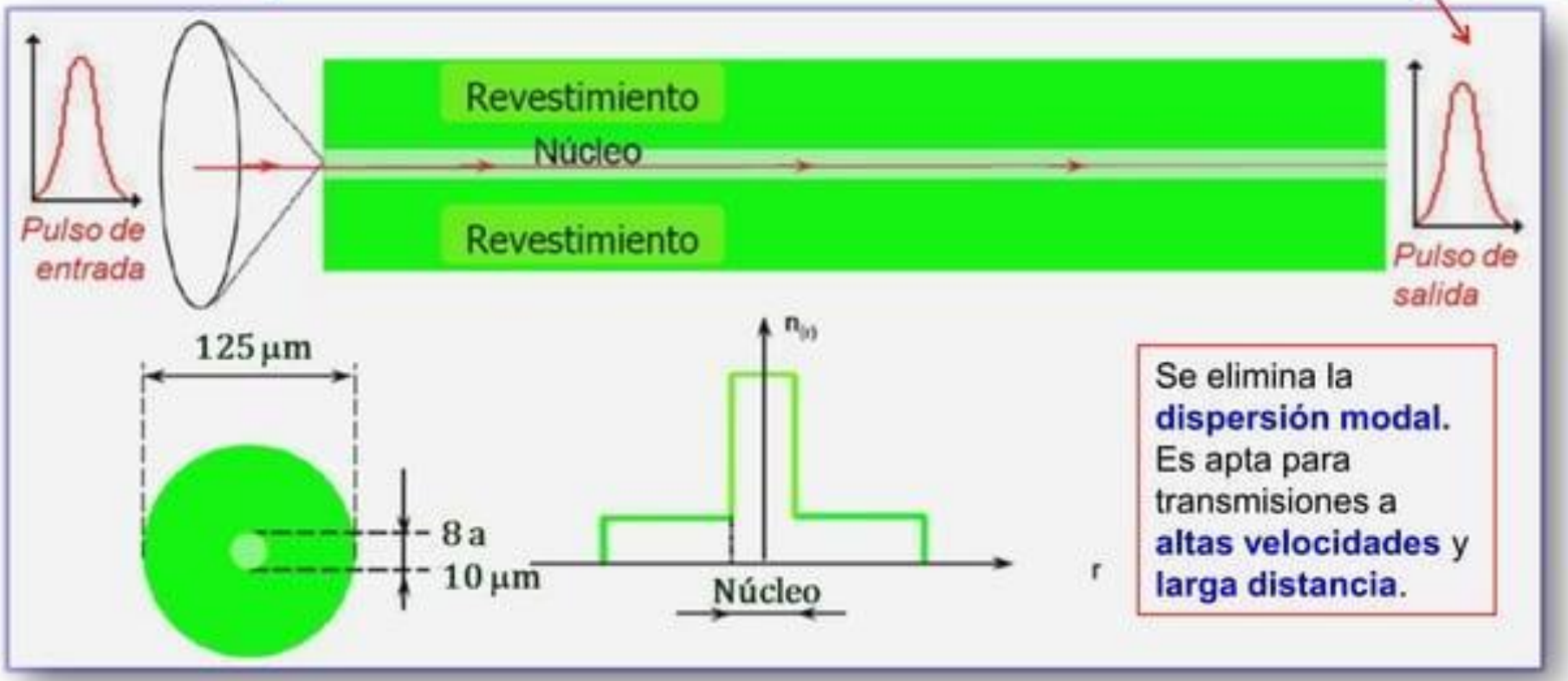
Se utiliza en redes LAN y en la industria.

Los modos son trayectos de luz.

Fibras monomodo SM

Los rayos de luz siguen un único trayecto

Los rayos de luz (generados por láser), ingresan al núcleo en un ángulo de **90º**, por eso viajan en un solo trayecto por el centro del núcleo y llegan a destino al mismo tiempo. En el extremo de la fibra se recibe un fuerte flash de luz.



Se elimina la **dispersión modal.** Es apta para transmisiones a **altas velocidades** y **larga distancia**.

El **núcleo** tiene un diámetro muy **pequeño** que solo permite un trayecto de luz.

Se utiliza en redes de larga distancia.

Siguen un único trayecto de luz.

Especificaciones de fibra óptica

Fibras multimodo.

FIBRAS MULTIMODO

Las fibras ópticas multimodo utilizadas en la fabricación poseen las características siguientes. Todas ellas de acuerdo con la Norma EN-188000.

CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

50-125 µm

Atenuación (dB/km)	850 nm (valor máximo)	2,4
	1300 nm (valor máximo)	0,6
Ancho de banda mínimo (MHz x km)	850 nm	≥ 400
	1300 nm	≥ 600
Apertura numérica		0,200 ± 0,015

62,5-125 µm

Atenuación (dB/km)	850 nm (valor máximo)	3
	1300 nm (valor máximo)	0,7
Ancho de banda mínimo (MHz x km)	850 nm	200
	1300 nm	600
Apertura numérica		0,275 ± 0,015

CARACTERÍSTICAS FISICAS

Diámetro de núcleo (µm)	50 ± 3 62,5 ± 2,5
No de circularidad del núcleo	≤ 6%
Diámetro del revestimiento (µm)	125 ± 2
Excentricidad revestimiento	≤ 1%
Diámetro sobre 1ª protec. (µm)	245 ± 10
Carga de rotura (Kpsi)	100

Fibras monomodo.

FIBRAS MONOMODO 10-125 µm

Las fibras ópticas monomodo utilizadas en la fabricación poseen las características siguientes. Todas ellas de acuerdo con la Recomendación G-652 de U.I.T y Norma EN-188000.

CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS Y FÍSICAS

		normal	máxima
Atenuación (dB/km)	1310 nm	0,35	0,40
	1550 nm	0,21	0,25
Diámetro de campos de modo (µm)	1310 nm		9,1 ± 0,5
	1550 nm		10,5 ± 1
Longitud de onda de corte (fibra cableada) (nm)			≤ 1270
Radio de curvatura mínimo (mm)			40
Alargamiento con 700 gr/FO			≤ 1%
PMD con fibra cableada (Ps/√km)			≤ 0,5
Dispersión total máxima (Ps/nm x km)	1288 - 1339 nm		3,5
	1271 - 1360 nm		5,3
	1550 nm		18

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS-MECÁNICAS

Diámetro revestimiento (µm)	125 ± 1
No circularidad revestimiento	≤ 2%
Concentridad núcleo-revestimiento (µm)	≤ 0,6%
Diámetro sobre protección primaria (µm)	245 ± 10
No circularidad protección primaria	≤ 5%
Error de concentricidad protección primaria (µm)	≤ 12
No circularidad del núcleo ca. mo. (µm)	≤ 1
Carga de rotura (Kpsi)	100
Adherencia	con disolventes adecuados
Longitud de onda de dispersión cero (nm)	± 1311
Pendiente de dispersión cero (Ps/nm².km)	≤ 0,093
Long. de onda de corte (nm)	1150 - 1330

Son especificaciones de la UIT-T

5.- Cable de fibra óptica

¿Cómo se construye un cable de fibra óptica?

A la **fibra óptica desnuda** (núcleo + revestimiento + color) se le agregan **protecciones** adicionales contra esfuerzos de tracción, aplastamiento y humedad.



Cables para ducto o aéreo (Furukawa)

Estructura del cable



Cable para ducto o aéreo (SIECOR)

Existen 2 diseños básicos para cable.

- El de **tubo ajustado** (**Tight Buffer**), utilizado para instalaciones en interior de edificios, para redes LAN.
- El de **tubo holgado** (**Loose Tube**) utilizado para instalaciones en exteriores.

Cables para tendidos externos

Código de colores para identificar fibras ópticas

¿Cómo se identifican las fibras en un cable?

Para identificar cada fibra y cada grupo de fibras contenidas en los tubos buffer se utiliza un **código de colores** que varían de un fabricante a otro:

Siemens/Corning Glasses

BUFFER	FIBRA N°
VERDE	1 = VERDE 2 = ROJA 3 = AZUL 4 = AMARILLA 5 = GRIS 6 = VIOLETA 7 = MARRON 8 = NARANJA
ROJO	9 = VERDE 10 = ROJA 11 = AZUL 12 = AMARILLA 13 = GRIS 14 = VIOLETA 15 = MARRON 16 = NARANJA

Siemens/Corning utiliza 8 colores.

Pirelli/Alcatel

	1 = AZUL
	2 = NARANJA
	3 = VERDE
	4 = MARRON
	5 = GRIS
	6 = BLANCO
	7 = ROJO
	8 = NEGRO
	9 = AMARILLO
	10 = VIOLETA
	11 = ROSA
	12 = CELESTE

Pirelli/Alcatel utiliza 12 colores.

Agrupación de fibras ópticas en un cable

¿Cómo se agrupan las fibras en un cable?

Se las agrupa en tubos, tal como indica la tabla, especificando el número de fibras por tubo para cables **Furukawa**.

El **código** utilizado es el mismo de Pirelli/Alcatel, de **12 colores**.



FURUKAWA INDUSTRIAL S.A. PRODUTOS ELÉTRICOS

Designación del cable	Cantidad de tubos	Número de fibras por tubo
CFOA-x-LV-AS-CMOy-S-06	01	06
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-12	02	06
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-18	03 (1 a 3)	06
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-24	04 (1 a 4)	06
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-30	05 (1 a 5)	06
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-36	06 (1 a 6)	06
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-48	04 (1 a 4)	12
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-60	05 (1 a 5)	12
CFOA-x-LV-AS-CMOy -S-72	06 (1 a 6)	12

Donde: x - corresponde al tipo de la fibra óptica (SM o NZD)
CMO - Carga Máxima de Operación
y - corresponde al valor de la carga máxima de operación en kN;

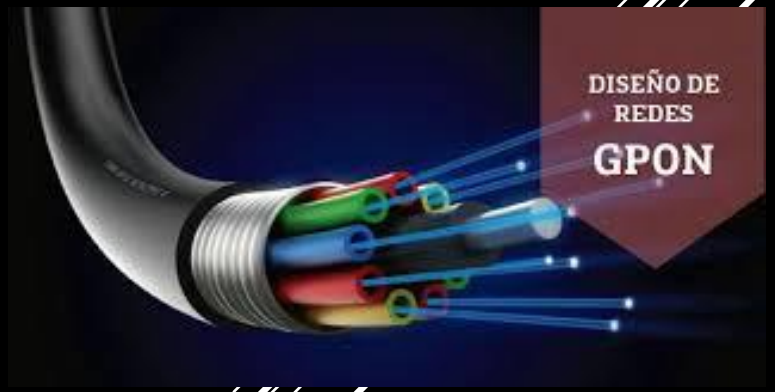
	1 = AZUL
	2 = NARANJA
	3 = VERDE
	4 = MARRON
	5 = GRIS
	6 = BLANCO
	7 = ROJO
	8 = NEGRO
	9 = AMARILLO
	10 = VIOLETA
	11 = ROSA
	12 = CELESTE

FIN

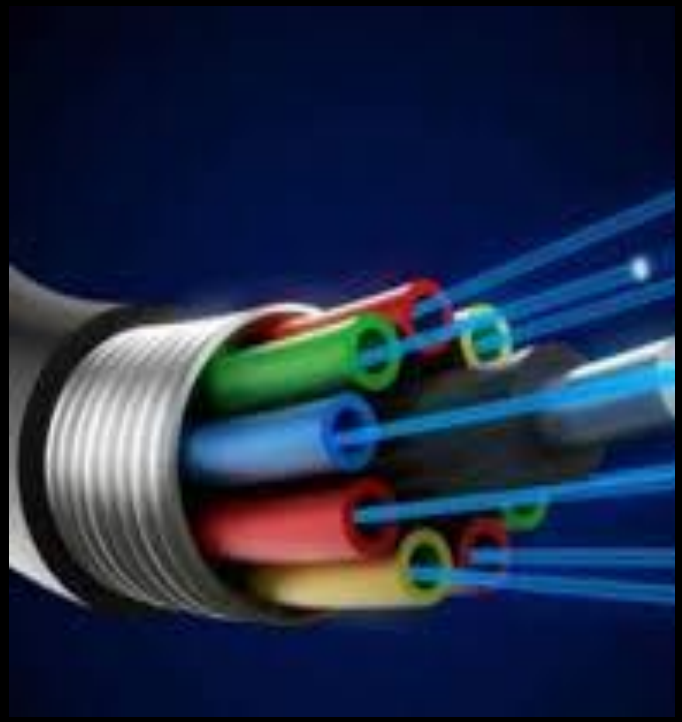
Un cable con 4 tubos tiene 24 fibras.

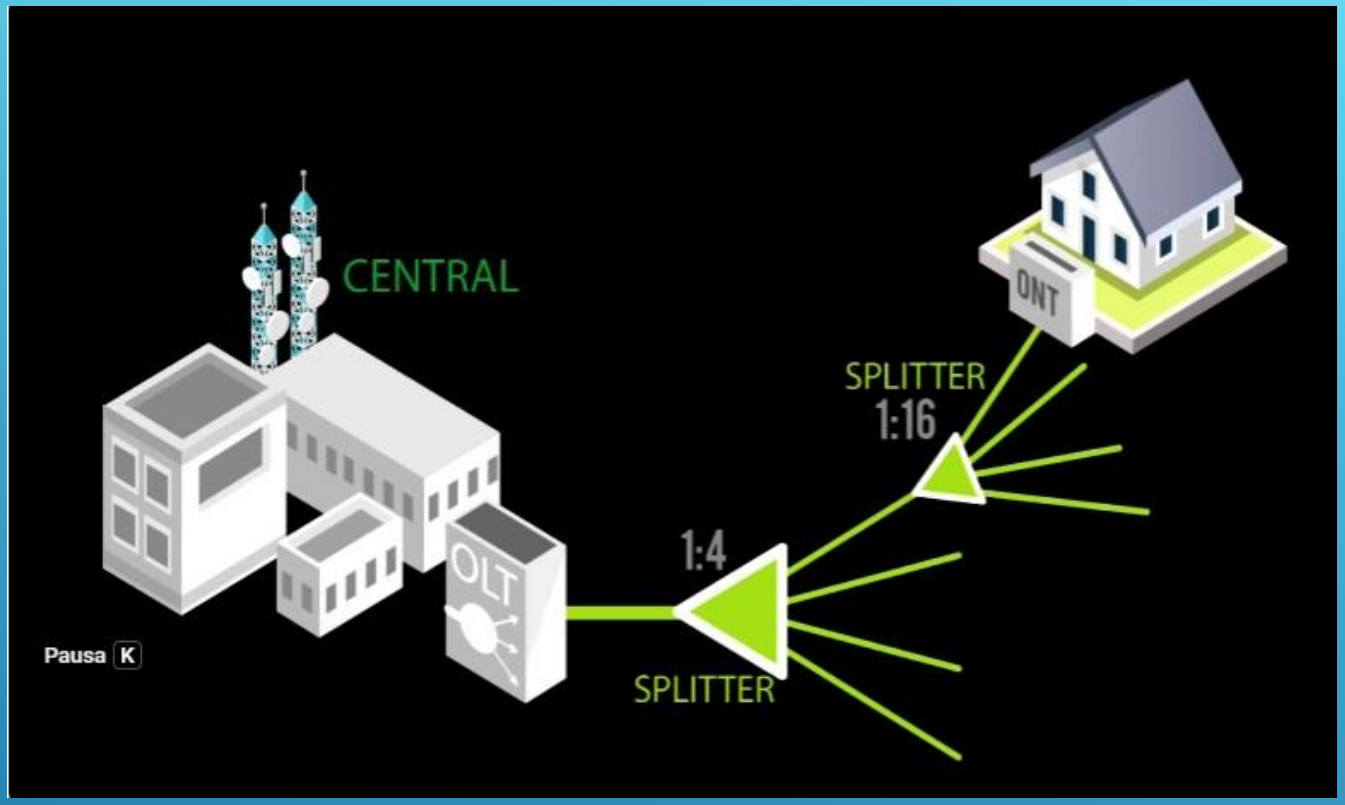
Los cables Furukawa tienen hasta 72 fibras.




DISEÑO DE
REDES
GPON

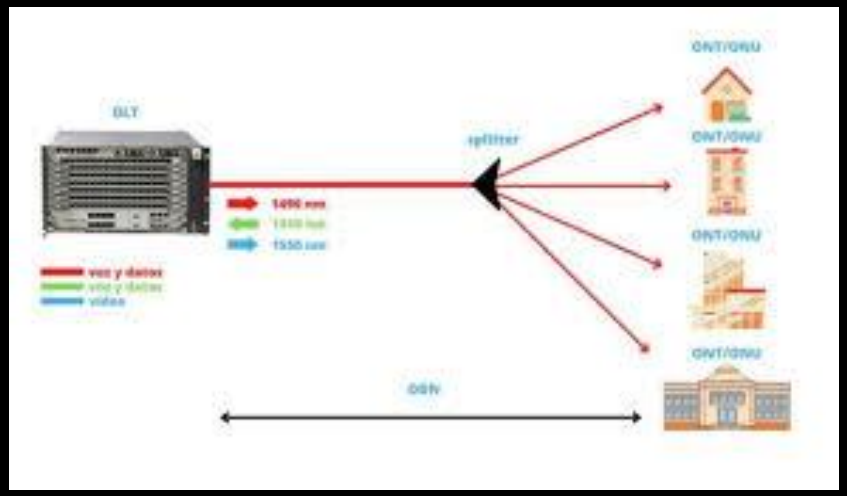
COMPONENTES CLAVE DE UNA **RED GPON**





ESTRUCTURA DE RED FTTH

ESTRUCTURA DE UNA RED FTTH




GEPON OLT

FUNCIONES CLAVE DE UNA OLT



- Conexión y gestión central:

Actúa como el concentrador central que conecta los cables de fibra óptica del proveedor con las redes de suscriptores.

- Conversión de señales:

Transforma las señales eléctricas en ópticas para la transmisión hacia los usuarios y viceversa para la transmisión ascendente.

- Asignación de ancho de banda:

Gestiona y distribuye el ancho de banda disponible entre los diferentes usuarios para garantizar la calidad de servicio (QoS).

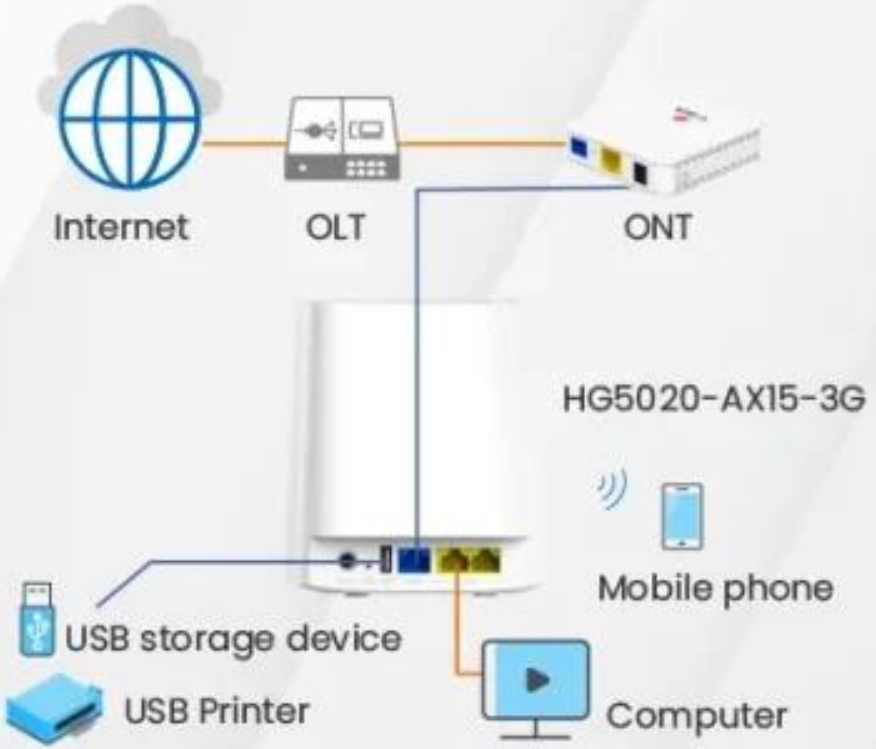
- Control del tráfico:

Coordina la multiplexación y el tráfico de datos, voz (VoIP) y video (IPTV), permitiendo la entrega de servicios de banda ancha de alta velocidad.

- Interfaz con la red principal:

Proporciona la conexión entre la red óptica pasiva y la red de larga distancia del ISP.

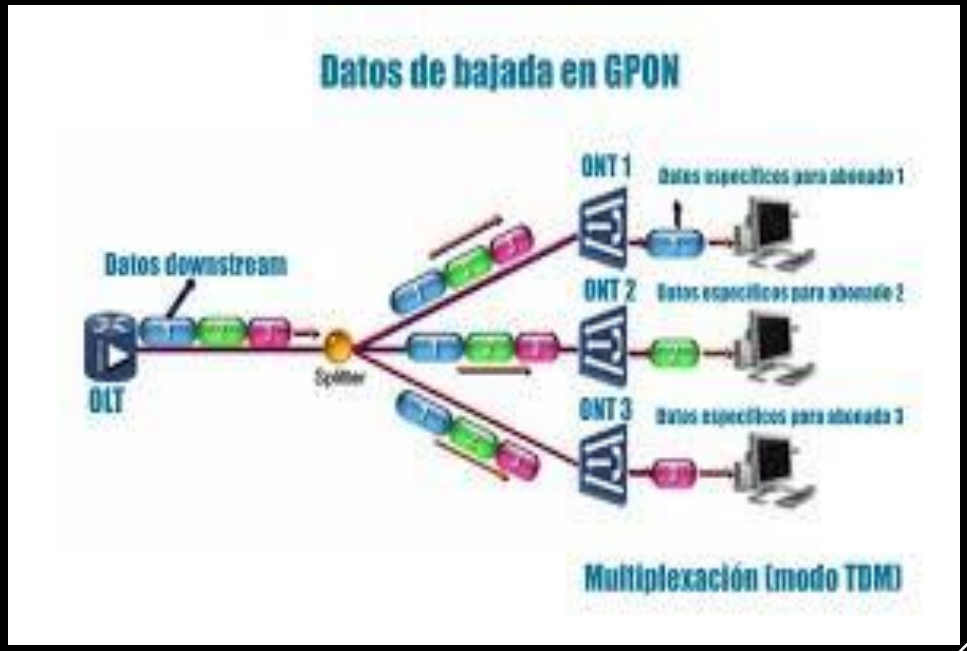

OLT


Internet
OLT
ONT
HG5020-AX15-3G
Mobile phone
USB storage device
USB Printer
Computer

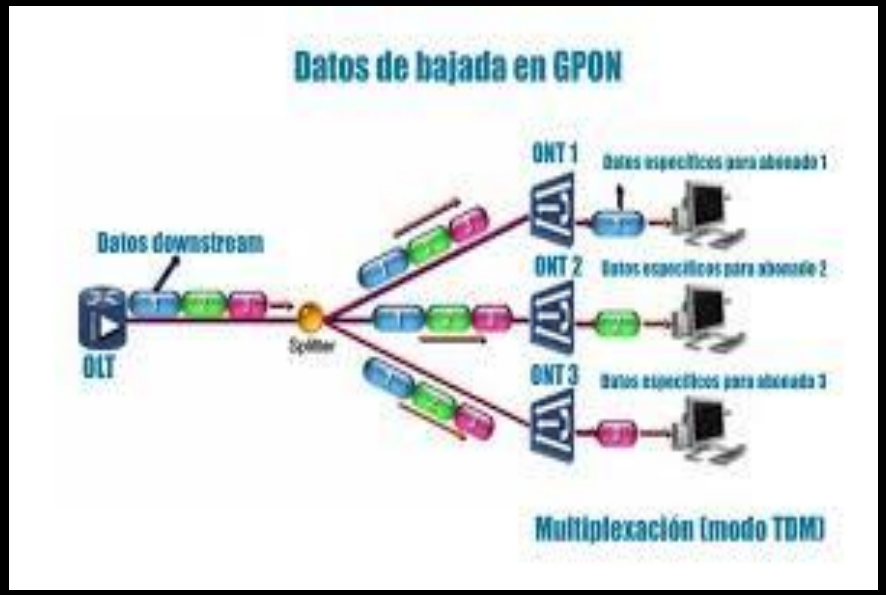


¿Qué es y cómo funciona?

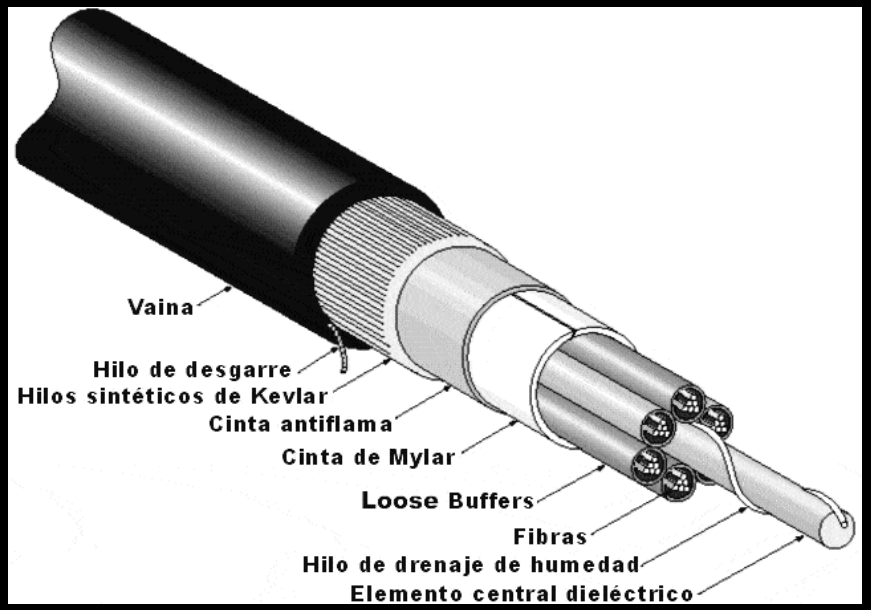



Datos de bajada en GPON
ONT 1
Datos específicos para abonado 1
Datos downstream
ONT 2
Datos específicos para abonado 2
OLT
Splitter
ONT 3
Datos específicos para abonado 3
Multiplexación (modo TDM)

¿QUÉ ES LA LONGITUD DE ONDA (LAMBDA)?



PARTES DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA



Cubierta: Es la envoltura o capa superior que protege, aísla y da consistencia a todos los elementos que van dentro del cable.

Hilos sintéticos de kevlar: Al ser un material de alta resistencia que rechaza la combustión y protege contra el fuego, ayuda mucho a mantener la consistencia y a proteger el cable.

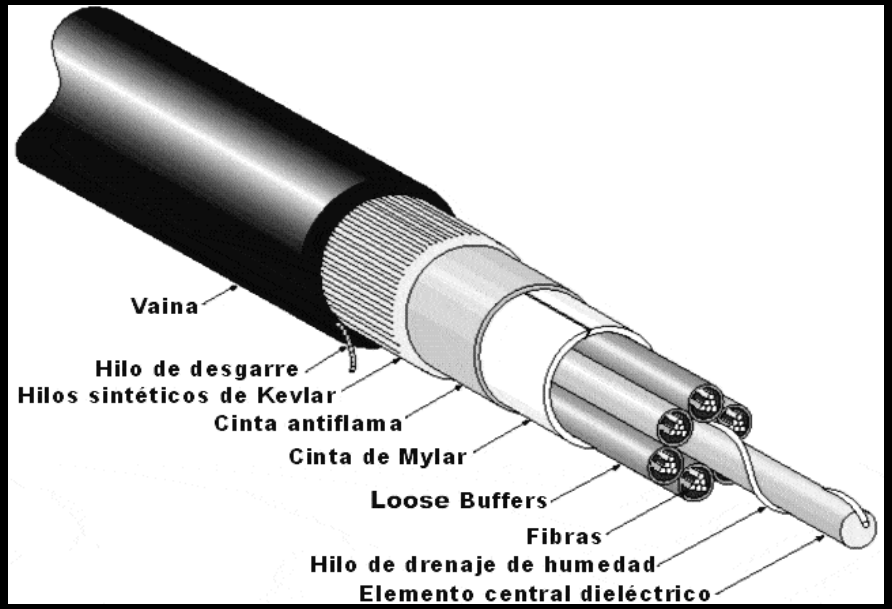
Hilos de desgarre: Es otra capa de hilos que ayudan a mantener la consistencia del cable.

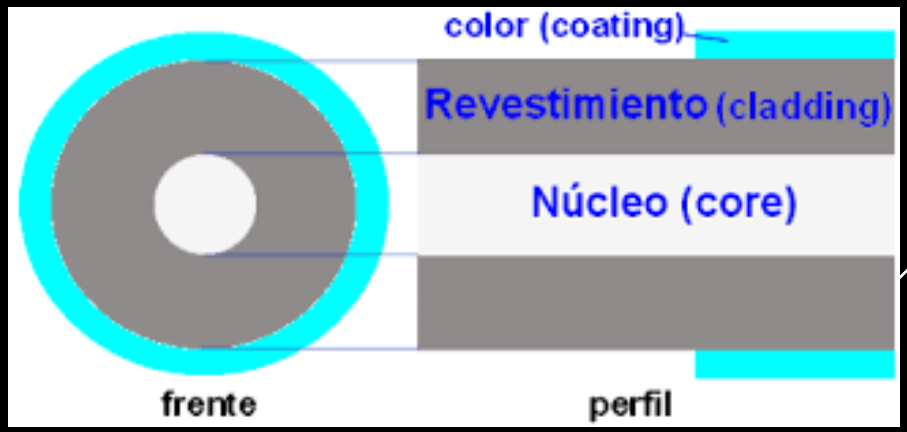
Cinta antillama: Además del kevlar, esta cinta ayuda a proteger al cable del calor y el fuego.

Cinta de mylar: Esta es usada como aislante y también ayuda un poco a la conductividad.

Hilo de drenaje de humedad: su fin es dejar que la humedad salga a través de él, sin tocar los demás elementos del cable.

PARTES DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA





LONGITUDES DE ONDA ESTÁNDAR

¿CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA DE 850 NM Y 1300 NM?

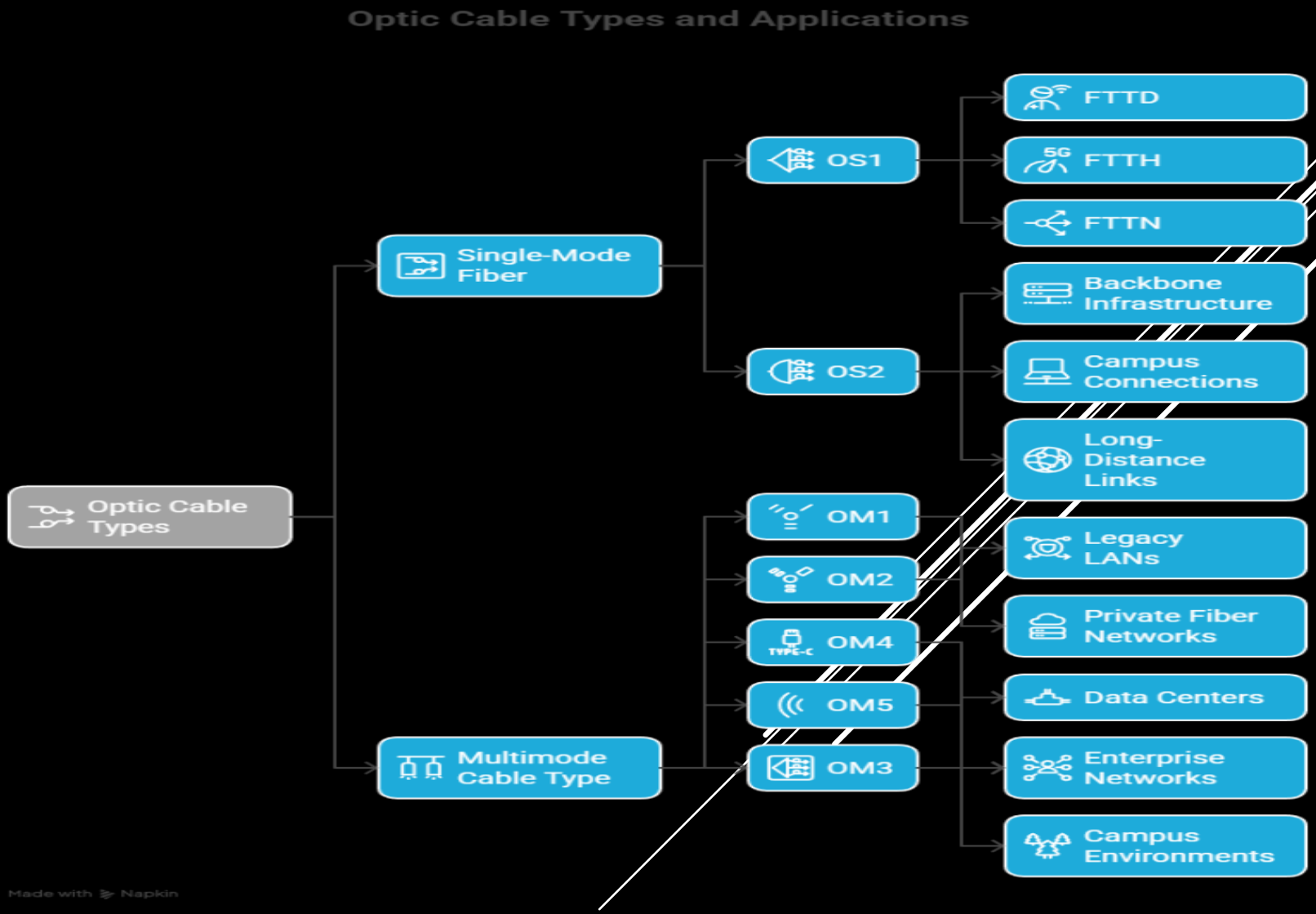


En aplicaciones multimodo:
850nm Es la longitud de onda más común para la transmisión a corta distancia. Utiliza fuentes de luz VCSEL (láser de emisión superficial de cavidad vertical) rentables, pero presenta tasas de atenuación más altas. 1300nm Ofrece mayor ancho de banda y menor atenuación que 850 nm, lo que la hace adecuada para transmisiones multimodo más largas. Sin embargo, las fuentes de luz de 1300 nm suelen ser más caras.

Para aplicaciones monomodo:

1310nm Es la longitud de onda estándar para la mayoría de las instalaciones debido a su excelente equilibrio entre costo y características de rendimiento.
1550nm Ofrece las tasas de atenuación más bajas (aproximadamente 0.2 dB/km), lo que lo hace ideal para aplicaciones de distancia ultra larga.



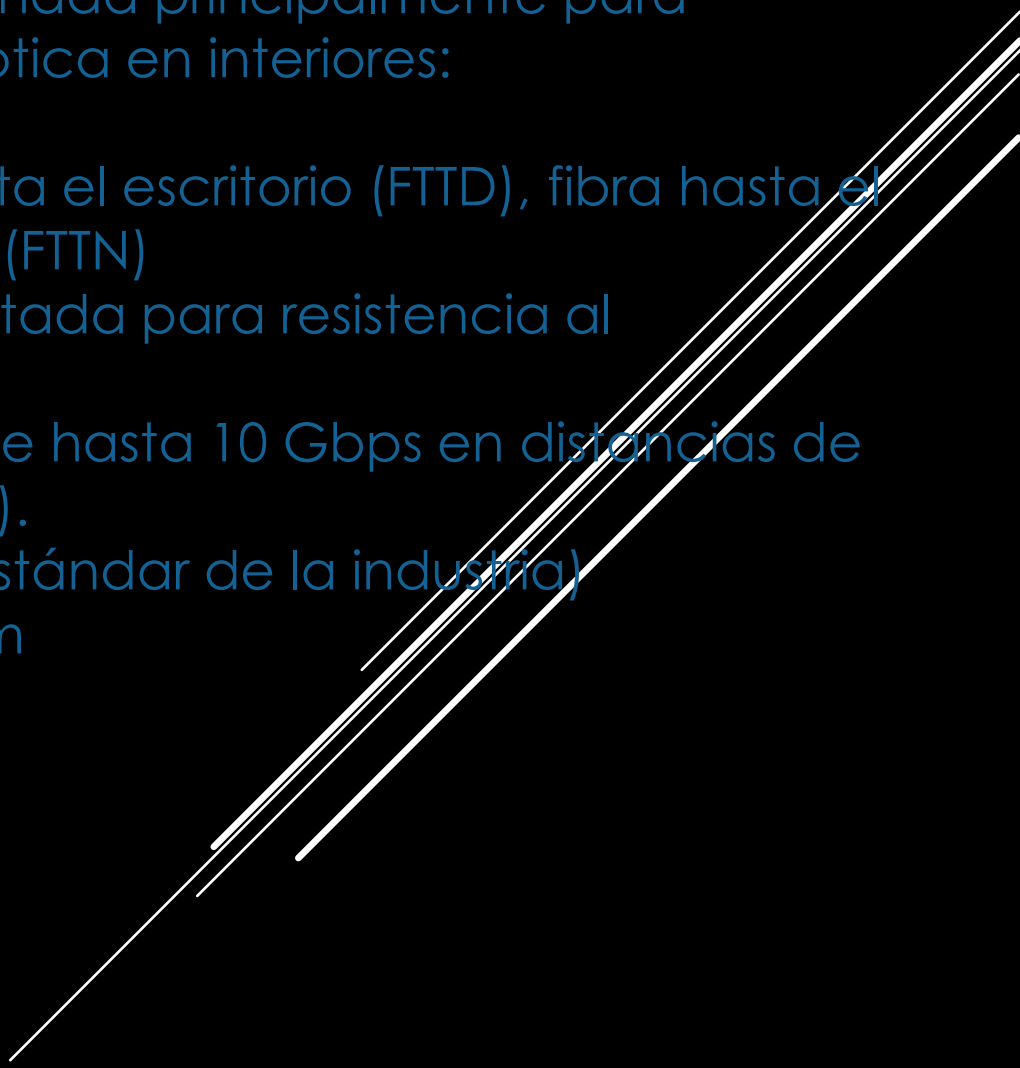

Optic Cable Types and Applications
Optic Cable Types
Single-Mode Fiber
Multimode Cable Type
OS1
OS2
OM1
OM2
OM4
OM5
OM3
FTTD
FTTH
FTTN
Backbone Infrastructure
Campus Connections
Long-Distance Links
Legacy LANs
Private Fiber Networks
Data Centers
Enterprise Networks
Campus Environments
Made with Napkin

Fibra monomodo

OS1

OS1 La fibra monomodo está diseñada principalmente para aplicaciones de cable de fibra óptica en interiores:

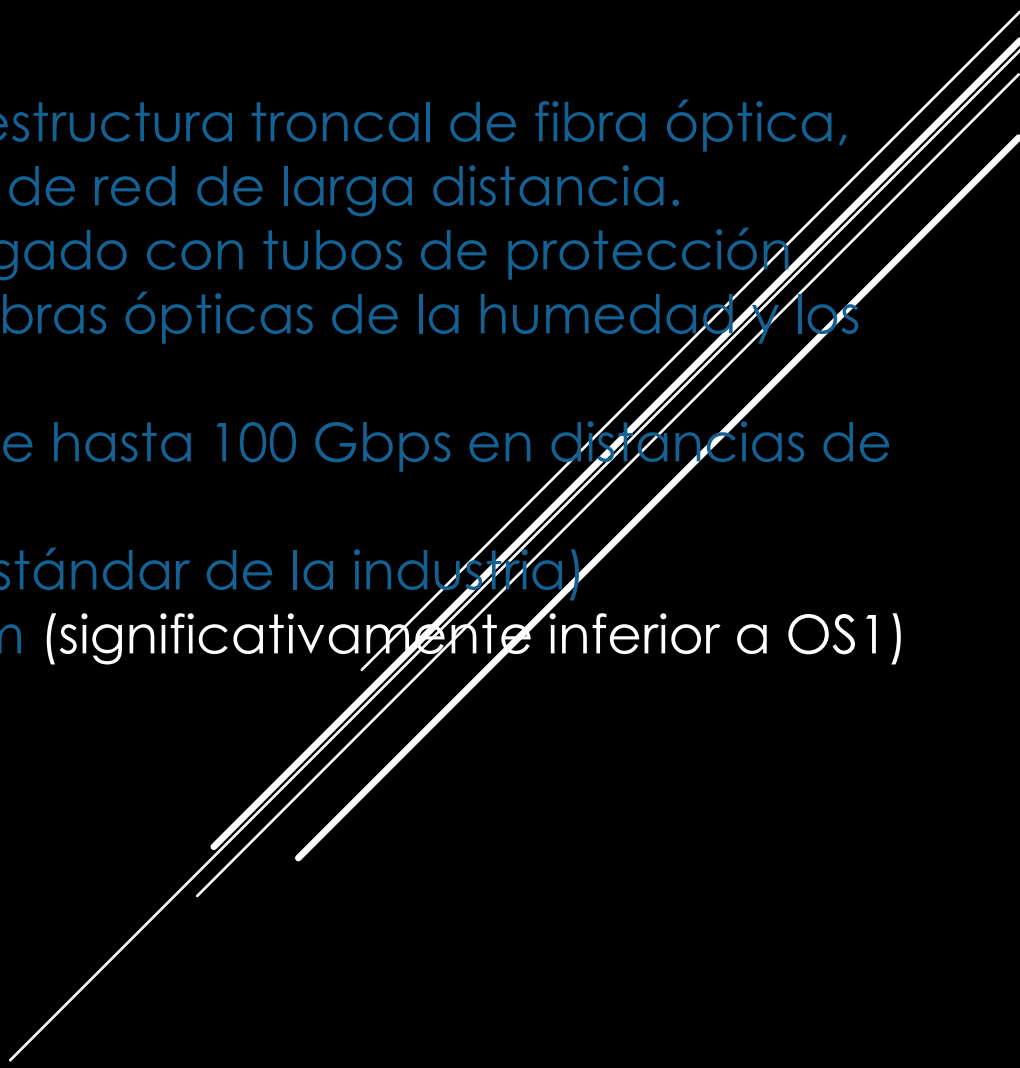
Aplicaciones: Ideal para fibra hasta el escritorio (FTTD), fibra hasta el hogar (FTTH) y fibra hasta el nodo (FTTN)
Construcción: Amortiguación ajustada para resistencia al aplastamiento y al fuego.
Actuación: Admite velocidades de hasta 10 Gbps en distancias de aproximadamente 10 km (6 millas).
Color de la chaqueta: Amarillo (estándar de la industria)
Atenuación: ≤1.0 dB/km a 1310 nm



OS2

OS2 La fibra monomodo está optimizada para aplicaciones de larga distancia y al aire libre:

Aplicaciones: Perfecto para infraestructura troncal de fibra óptica, conexiones de campus y enlaces de red de larga distancia.
Construcción: Diseño de tubo holgado con tubos de protección rellenos de gel que protegen las fibras ópticas de la humedad y los factores ambientales.
Actuación: Admite velocidades de hasta 100 Gbps en distancias de hasta 200 km (124 millas)
Color de la chaqueta: Amarillo (estándar de la industria)
Atenuación: ≤0.4 dB/km a 1310 nm (significativamente inferior a OS1)



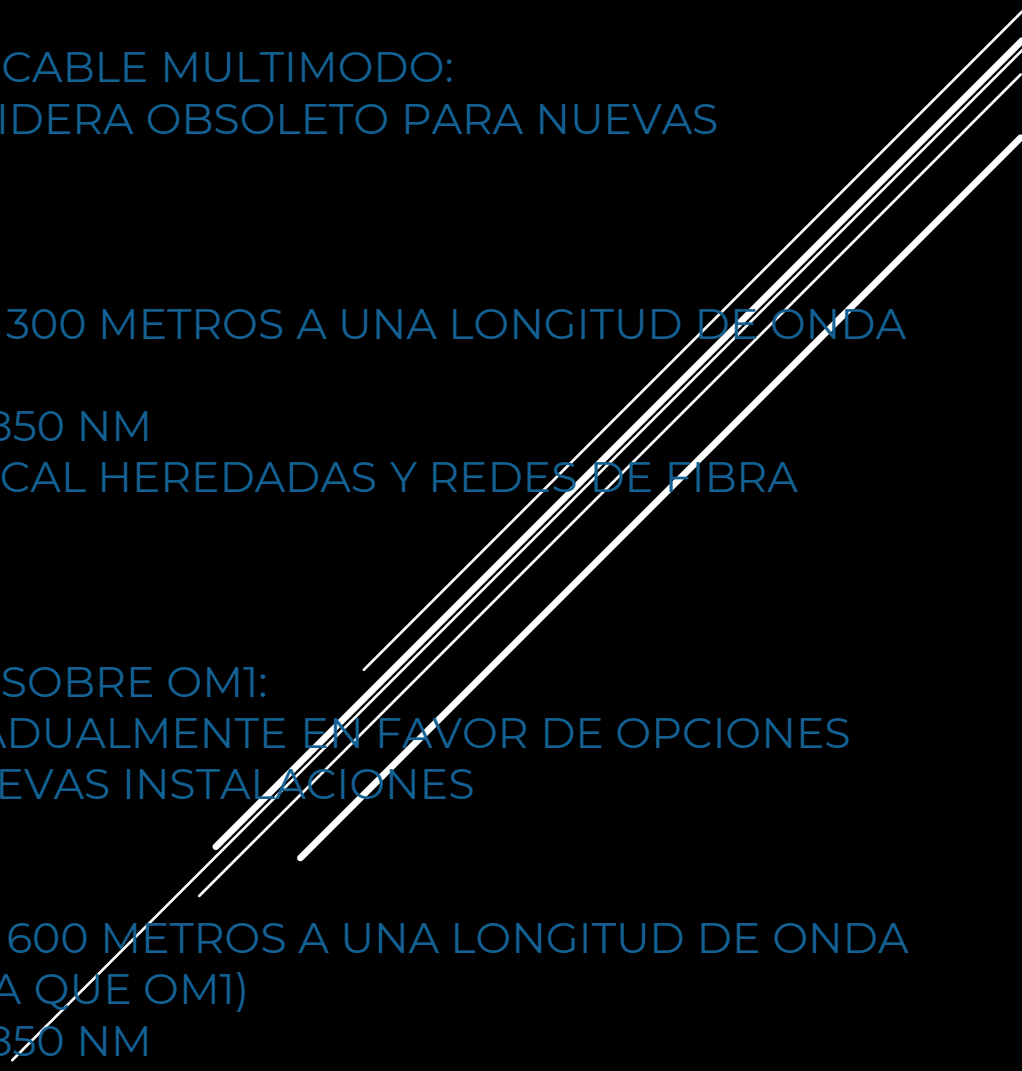
TIPO DE CABLE MULTIMODO

OM1

OM1 ES EL ESTÁNDAR ORIGINAL DE CABLE MULTIMODO:
ESTATUS GENERALMENTE SE CONSIDERA OBSOLETO PARA NUEVAS INSTALACIONES.
TAMAÑO DEL NÚCLEO: 62.5MM
CHAQUETA EXTERNA: NARANJA
ACTUACIÓN: ADMITE 1 GBPS HASTA 300 METROS A UNA LONGITUD DE ONDA DE 850 NM
ANCHO DE BANDA: 200 MHZ·KM A 850 NM
APLICACIONES: REDES DE ÁREA LOCAL HEREDADAS Y REDES DE FIBRA PRIVADAS

OM2

OM2 OFRECE MEJORAS MODESTAS SOBRE OM1:
ESTATUS SE ESTÁ ELIMINANDO GRADUALMENTE EN FAVOR DE OPCIONES OPTIMIZADAS CON LÁSER PARA NUEVAS INSTALACIONES
TAMAÑO DEL NÚCLEO: 50MM
CHAQUETA EXTERNA: NARANJA
ACTUACIÓN: ADMITE 1 GBPS HASTA 600 METROS A UNA LONGITUD DE ONDA DE 850 NM (EL DOBLE DE DISTANCIA QUE OM1)
ANCHO DE BANDA: 500 MHZ·KM A 850 NM
APLICACIONES: SIMILAR AL OM1 PERO CON CAPACIDAD DE ALCANCE EXTENDIDO



TIPO DE CABLE MULTIMODO

OM3

OM3 REPRESENTA UN SALTO SIGNIFICATIVO EN EL RENDIMIENTO MULTIMODO A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL LÁSER:
FUNCIÓN CLAVE: OPTIMIZADO PARA LÁSER PARA SU USO CON FUENTES DE LUZ VCSEL
TAMAÑO DEL NÚCLEO: 50MM
CHAQUETA DE CABLES: AQUA
ACTUACIÓN: ADMITE 10 GBPS HASTA 300 METROS A UNA LONGITUD DE ONDA DE 850 NM
ANCHO DE BANDA: 2000 MHZ·KM A 850 NM
APLICACIONES: CENTROS DE DATOS, REDES EMPRESARIALES Y ENTORNOS DE CAMPUS QUE REQUIEREN VELOCIDADES DE 10 G+

OM4
OM4 MEJORA AÚN MÁS EL RENDIMIENTO MULTIMODO OPTIMIZADO POR LÁSER:
TAMAÑO DEL NÚCLEO: 50MM
CHAQUETA DE CABLES: AQUA O VIOLETA
ACTUACIÓN: ADMITE 10 GBPS HASTA 550 METROS A UNA LONGITUD DE ONDA DE 850 NM
ANCHO DE BANDA: 4700 MHZ·KM A 850 NM
APLICACIONES: CENTROS DE DATOS Y REDES EMPRESARIALES DE ALTO RENDIMIENTO
SOPORTE DE ESTÁNDARES: COMPATIBLE CON APLICACIONES 10GBASE-SR, 40GBASE-SR4 Y 100GBASE-SR10

TIPO DE CABLE MULTIMODO

OM5
OM5 ES EL ESTÁNDAR MULTIMODO MÁS NUEVO, INTRODUCIDO PARA ADMITIR LA MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA CORTA:

COMPATIBILIDAD: TOTALMENTE COMPATIBLE CON VERSIONES ANTERIORES DE INSTALACIONES OM3 Y OM4
TAMAÑO DEL NÚCLEO: 50MM
CHAQUETA DE CABLES: VERDE LIMA
ACTUACIÓN: ADMITE MÚLTIPLES LONGITUDES DE ONDA ENTRE 850 Y 953 NM.
ANCHO DE BANDA: 4700 MHZ·KM A 850 NM (CON RENDIMIENTO MEJORADO EN OTRAS LONGITUDES DE ONDA)
FUNCIÓN CLAVE: ADMITE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DE ONDA CORTA (SWDM), LO QUE PERMITE MÚLTIPLES CANALES DE DATOS EN UNA SOLA FIBRA
APLICACIONES: CENTROS DE DATOS DE ALTA DENSIDAD QUE REQUIEREN CONECTIVIDAD 40G/100G/400G



Tipo de fibra	Tamaño del núcleo	Color de chaqueta	Distancia máxima (1G)	Distancia máxima (10G)	Distancia máxima (40G)	Ancho de banda (MHz·km)
OM1	62.5µm	Naranja	300m	33m	No se admite	200
OM2	50µm	Naranja	600m	82m	No se admite	500
OM3	50µm	Aqua	1000m	300m	100m	2000
OM4	50µm	Aqua / Violet	1000m	550m	150m	4700
OM5	50µm	Lima Verde	1000m	550m	150 m (4 longitudes de onda)	4700 (mejorado para WDM)

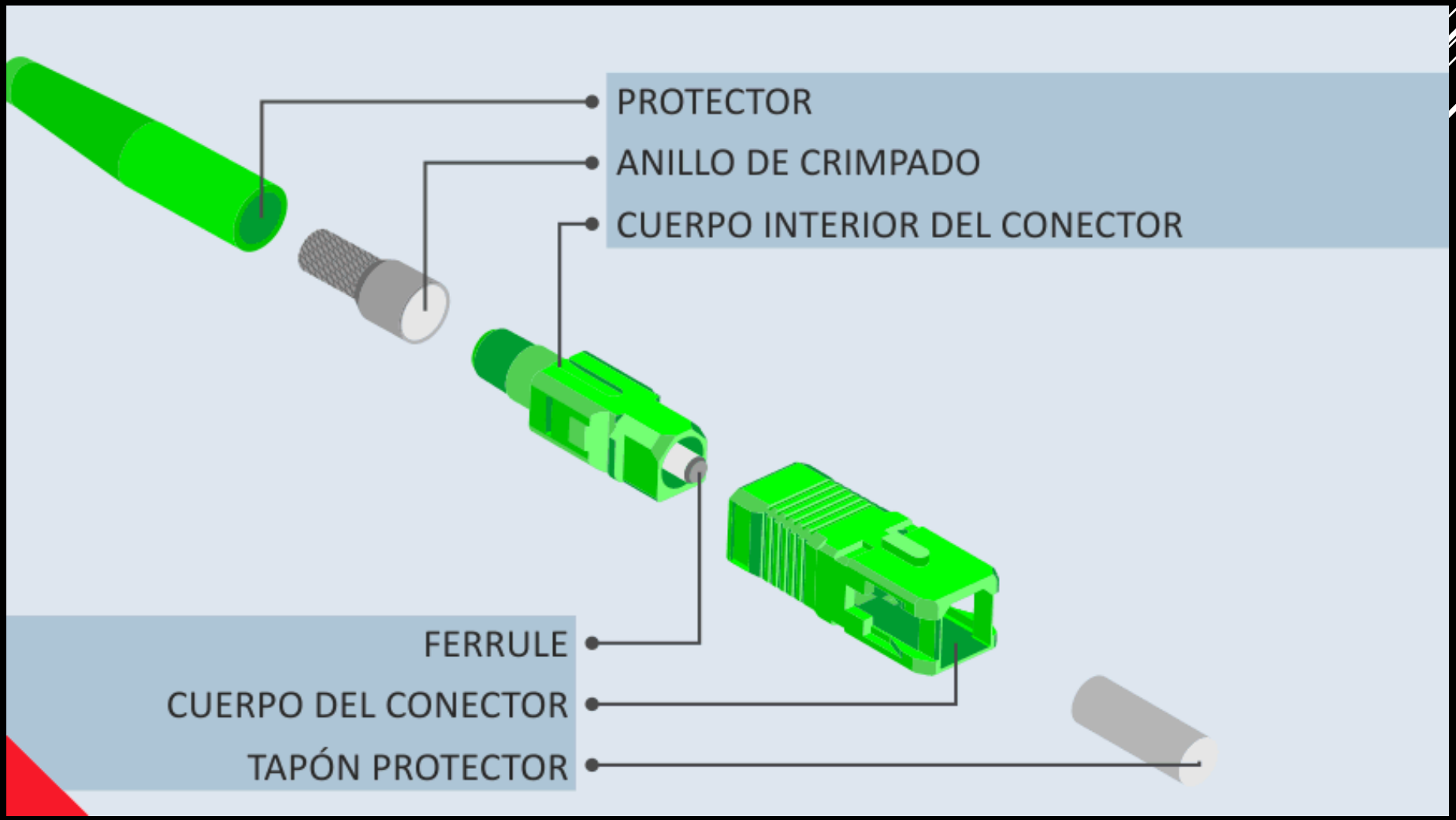
Tipo de fibra	Longitudes de onda operativas	Características
Multimodo	850nm y 1300nm	Fuentes de luz de menor costo (LED/VCSEL)
Modo singular	1310nm y 1550nm	Fuentes de luz de mayor coste (láseres)

TIPOS DE CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA

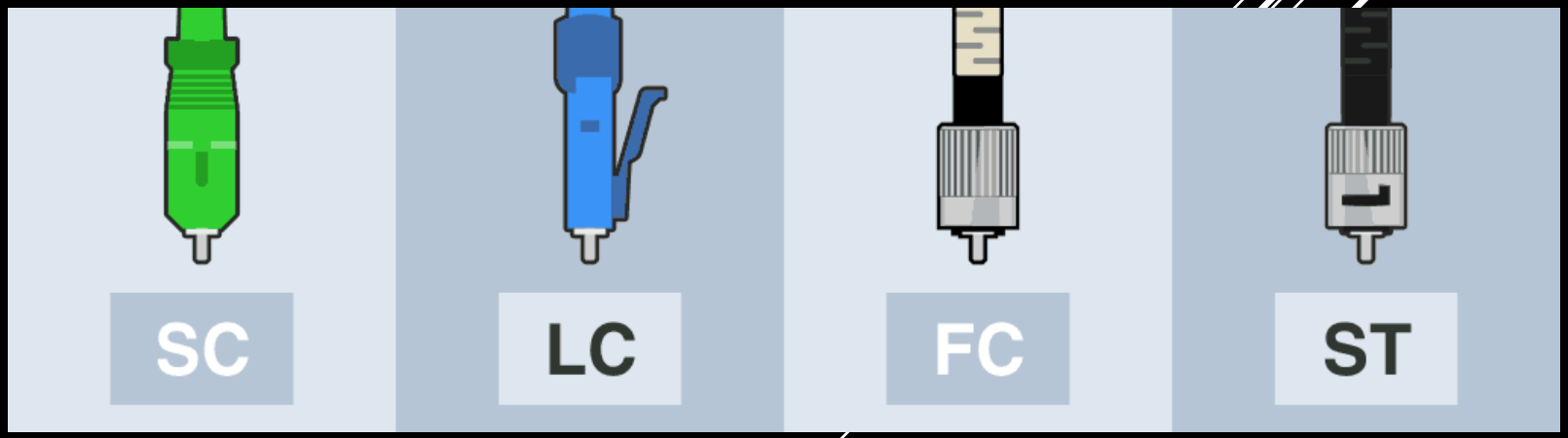
LAS SIGLAS SC, LC, FC Y ST CORRESPONDEN A LOS TIPOS DE CONECTOR ÓPTICO MÁS COMUNES EN APLICACIONES FTTH Y EN REDES DE DATOS. EN CUANTO A LA NOMENCLATURA PC/UPC/APC, SON SIGLAS QUE SE REFIEREN AL TIPO DE PULIDO DEL TERMINAL ÓPTICO (FERRULE) QUE HACE POSIBLE EL PASO DE PULSOS DE LUZ LÁSER ENTRE DOS FIBRAS ÓPTICAS.

ASÍ, POR EJEMPLO, UN TÍPICO LATIGUILLO DE FTTH TERMINADO EN SC/APC SE REFIERE A UN CONECTOR SC QUE TIENE UN PULIDO APC.

DIAGRAMA DE UN TÍPICO CONECTOR DE FIBRA ÓPTICA TIPO SC



TIPOS DE CONECTORES ÓPTICOS MÁS COMUNES



CONECTOR FC



Qué significa FC: Son las siglas de Conector de Ferrule (Ferrule Connector).
Su historia: Fue el primer conector óptico con ferrule cerámico, desarrollado por Nippon Telephone and Telegraph. Su uso está cayendo en favor de los conectores SC y LC.
Características: Es un conector roscado con una fijación muy resistente a vibraciones, por ello se utiliza en aplicaciones sometidas a movimiento. También se utiliza en los instrumentos de precisión (como los OTDR) y es muy

CONECTOR FC



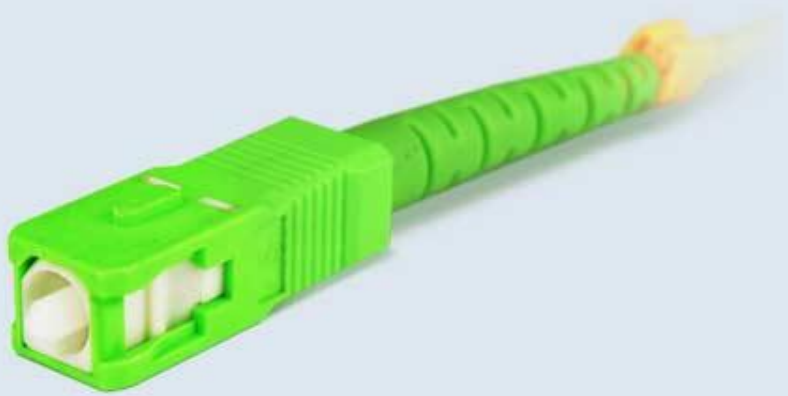
Qué significa ST: Son las siglas de Punta Recta (Straight Tip).
Su historia: Desarrollado en EEUU por AT&T y utilizado en entornos profesionales como redes corporativas así como en el ámbito militar.
Características: Es similar en forma al conector japonés FC, pero su ajuste es similar al de un conector BNC (montura en bayoneta).
Características ópticas: Se utiliza en fibras multimodo. Sus pérdidas de inserción rondan los 0,25 dB.

CONECTOR LC



Qué significa LC: Son las siglas de Conector Lucent (Lucent Connector) o Conector Pequeño (Little Connector).
Su historia: Es un desarrollo de Lucent Technologies que vio la luz en 1997.
Características físicas: Ajuste similar a un RJ45 (tipo push and pull). Más seguro y compacto que el SC, así que permite incluso mayores densidades de conectores en racks, paneles y FTTH.
Características ópticas: Para fibras monomodo y multimodo. Pérdidas de 0,10

CONECTOR SC



Qué significa SC: Son las siglas de Conector de Suscriptor (Suscriptor Connector) o Conector Cuadrado (Square Connector).
Su historia: Desarrollado por Nipón Telegraph and Telephone, su cada vez menor coste de fabricación lo ha convertido en el más popular.
Características: Ajuste rápido a presión. Es compacto, permitiendo integrar gran densidad de conectores por instrumento. Se utiliza en FTTH, telefonía, televisión por cable, etc.

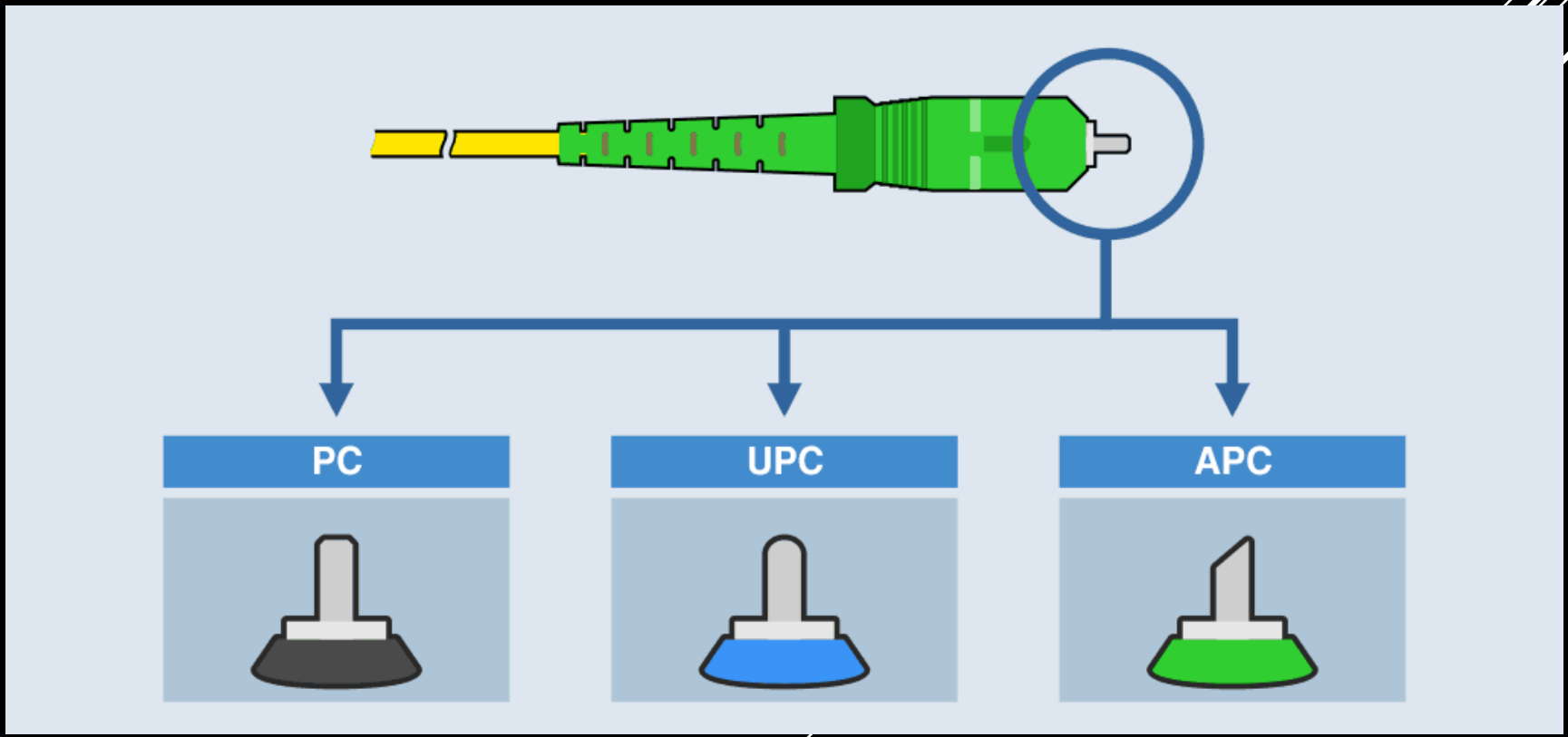

PC
UPC
APC

TABLA DE COLORES DE LOS CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA

TIPO DE FIBRA ÓPTICA	COLOR DEL CONECTOR
62.5/125	Beige
50/125	Negro
50/125 laser optimized	Aguamarina
OM5	Lima
Monomodo	Azul
Monomodo con pulido APC	Verde

ESTRUCTURA DE UNA RED FTTH

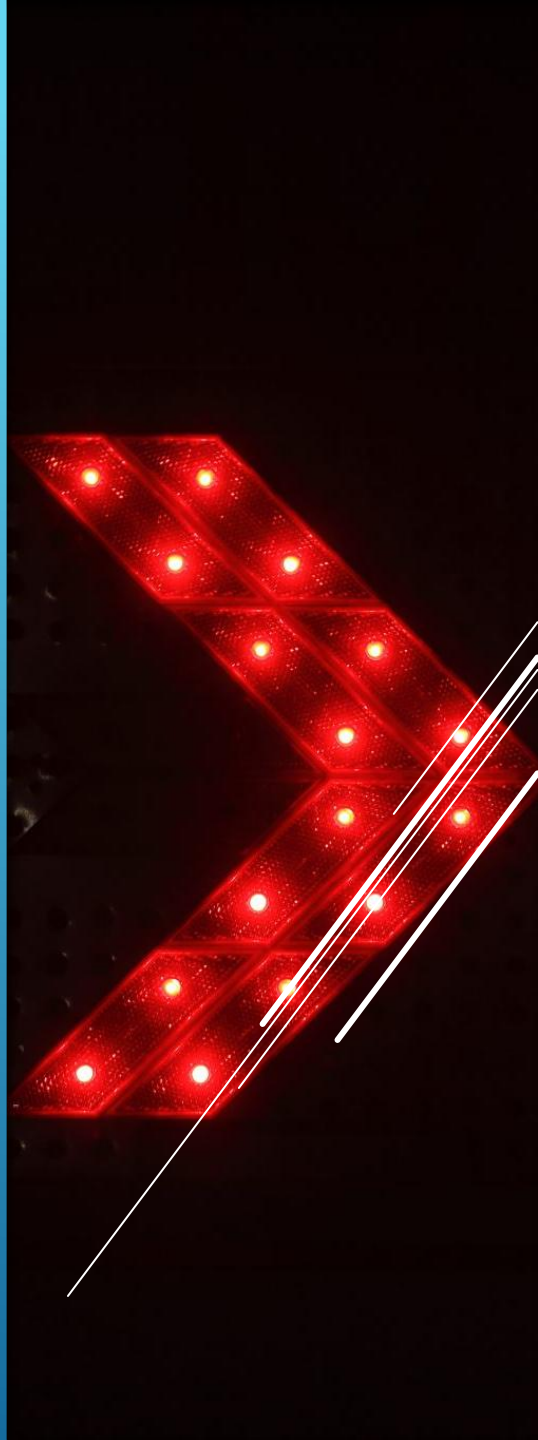
1. **Terminal de Línea Óptica (OLT)**
Es el equipo principal en la central de telecomunicaciones.
Concentra y gestiona la señal óptica de todos los clientes.

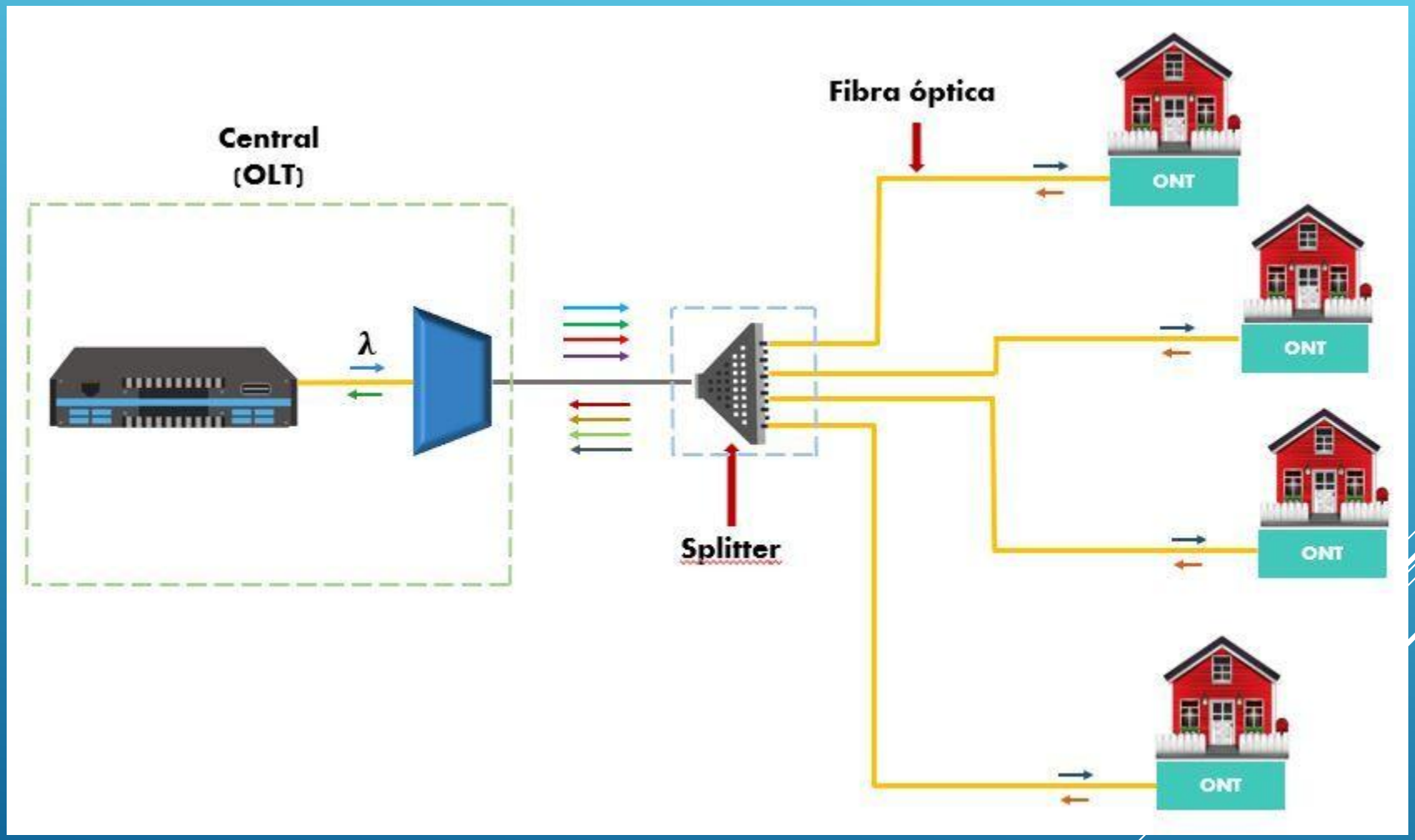
2. **Red de Distribución Óptica (ODN)**
Es la red pasiva que conecta la OLT con los clientes finales y está formada por varios elementos:
Cable de alimentación: Va desde la central hasta un punto de distribución.
Splitters ópticos: Dividen la señal óptica para que pueda llegar a varios clientes. Se pueden ubicar de forma centralizada o en cascada.
Cables de distribución: Llevan la señal desde el punto de división hasta las proximidades del cliente.

Cajas NAP: (Network Access Point) son cajas de distribución que alojan los divisores para conectar a varios usuarios en una misma zona.
Cable de drop: Es el cable delgado que se instala directamente desde la caja NAP hasta la casa del cliente

ESTRUCTURA DE UNA RED FTTH

- **3. Terminal de Red Óptica (ONT)**
- Es el equipo que se encuentra en el hogar del cliente.
- Es responsable de convertir la señal de fibra óptica en la señal eléctrica que utilizan los dispositivos del usuario, como routers y computadoras.
- Su configuración es esencial para que la OLT pueda identificar y sincronizar el equipo del cliente.




Central
(OLT)
λ
Fibra óptica
Splitter
ONT
ONT
ONT
ONT

Componente	Pérdida promedio	Notas
Atenuación del cable	0.4 dB/km	Fibra monomodo G.652D/G.657A a 1550 nm.
Conectores	0.3 dB por conector	Conector pulido adhesivo estándar.
Empalmes	0.1 dB - 0.5 dB por empalme	Depende del método de empalme y la calidad de la conexión.
Splitter (1xN)	Variable	Depende de la cantidad de salidas (N) y el tipo de splitter.
Fibra Óptica (unión de tramos)	0.25 dB por empalme	
Pérdida por flexión	Variable	Se produce por curvatura excesiva de la fibra.

PERDIDAS DE UNA RED FTTH

Cálculo de pérdidas en una red FTTH
Para calcular la pérdida total del enlace, se deben sumar las pérdidas de cada elemento del tramo.

Componente	Pérdida promedio	Notas
Atenuación del cable	**0.4 dB/km**	Fibra monomodo G.652D / G.657A a 1550 nm
Conectores	**0.3 dB por conector**	Conector pulido adhesivo estándar
Empalmes por fusión	**0.1 – 0.5 dB por empalme**	Varía según técnica y calidad del empalme
Splitter óptico (1xN)	**Variable**	Aumenta según el valor de N; ej. 1x2 ≈ 3.5 dB, 1x8 ≈ 10.5 dB, 1x16 ≈ 13.5 dB, 1x32 ≈ 17 dB
Uniones de tramos de fibra (fusiones)	**0.25 dB por empalme**	Puede considerarse un valor típico fijo
Pérdidas por flexión	**Variable**	Ocurre por curvaturas excesivas o radio no permitido

PERDIDAS DE UNA RED FTTH

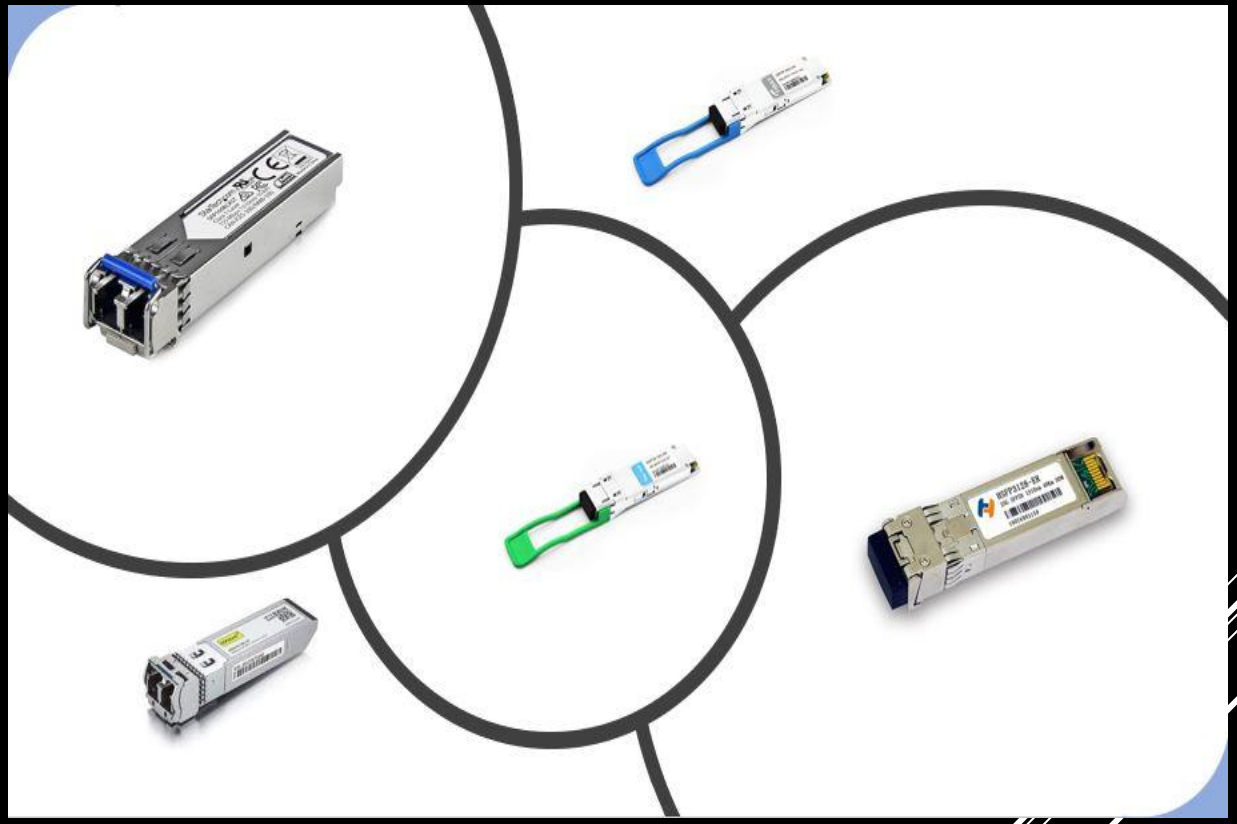
Fórmula general de pérdida total

$$Pérdida\ Total\ (dB) = (\alpha \times L) + (N_c \times P_c) + (N_e \times P_e) + P_{splitter} + P_{extra}$$

Donde:

- α: Atenuación del cable (dB/km)
- L: Longitud del cable (km)
- N_c: Número de conectores
- P_c: Pérdida por conector (dB)
- N_e: Número de empalmes
- P_e: Pérdida por empalme (dB)
- $P_{splitter}$: Pérdida total introducida por los splitters
- P_{extra}: Pérdidas adicionales (flexiones, reservas, empalmes no previstos)

MÓDULOS TRANSCEIVER DE FIBRA ÓPTICA



¿ QUÉ ES UN MÓDULO TRANSCEIVER ?

Un transceiver o transceptor óptico como su nombre lo dice se trata de un módulo compuesto por una sección transmisora y otra receptora dispuestas dentro de una misma carcaza bajo un circuito compartido usualmente.

Transceiver de Fibra Óptica

Los transceiver de fibra óptica son dispositivos diseñados para emplearse en equipos de telecomunicaciones como switches de red, servidores, entre otros.

Hay varios tipos de transceiver que se clasifican según la velocidad de transmisión a la cual operan como se aprecia a continuación:

¿ QUÉ ES UN MÓDULO TRANSCEIVER ?

Módulos SFP

Los transceptores SFP son dispositivos capaces de brindar velocidades de transmisión de datos entre los 100 Mbps y los 4 Gbps, con un alcance que varía entre los 500 m y los 100 km.

En la industria se fabrican para conexión con fibras ópticas y cables de cobre monomodo y para patchcord multimodo que permite trabajar con cualquier tipo de cable.

Estos dispositivos obedecen a un acuerdo de fuente múltiple o MSA por lo cual es compatible con los principales estándares de comunicación como:

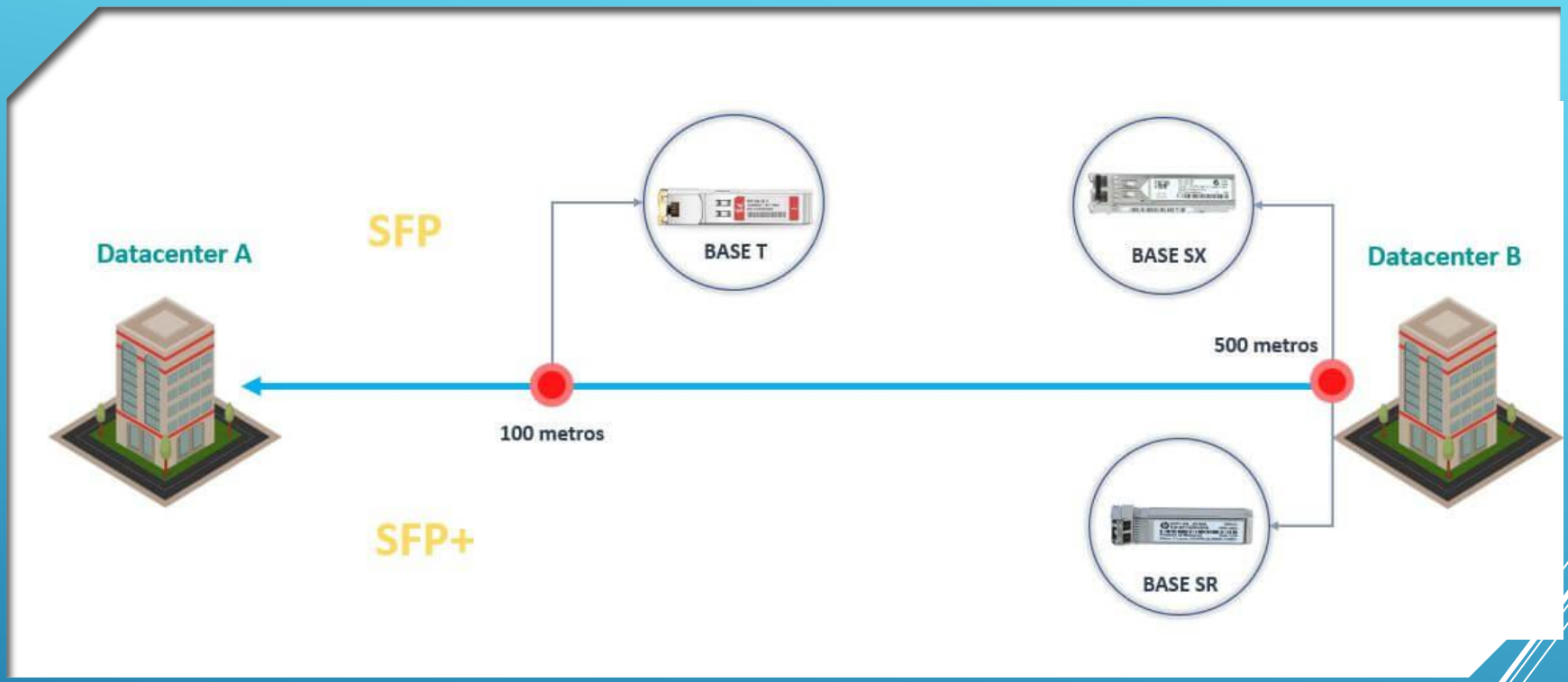
Sonet

Fiber Channel

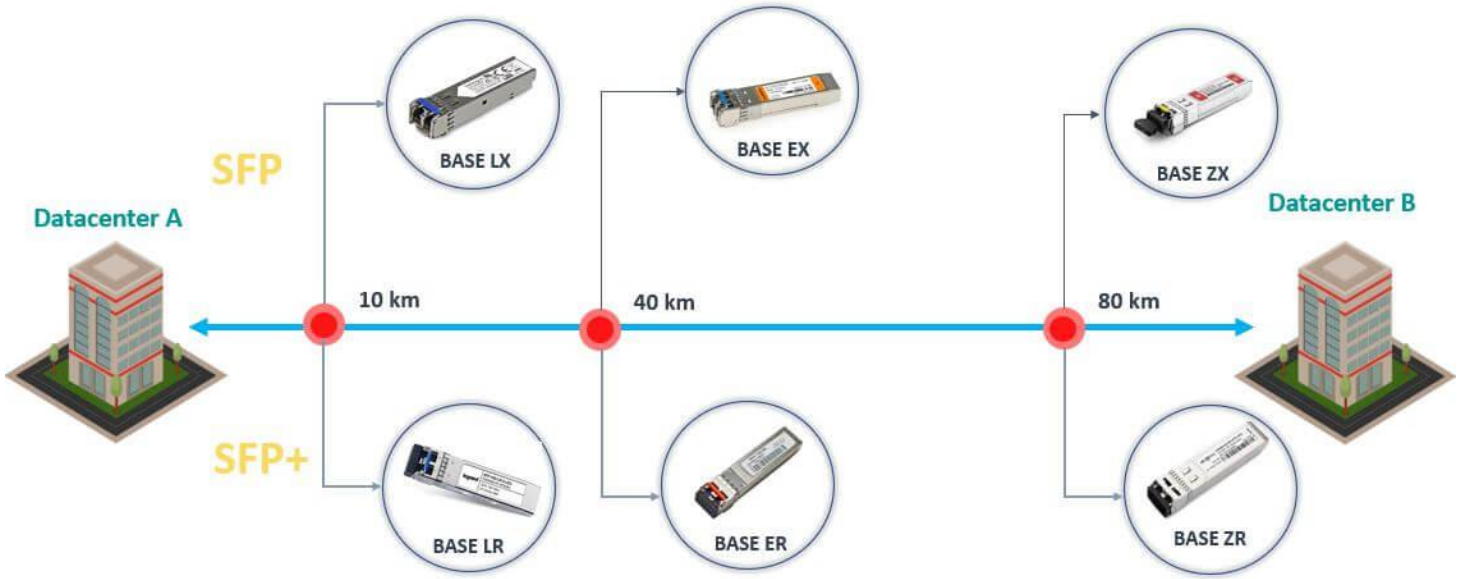
Ethernet

SFP	1Gbps	Small Form Factor
SFP+	10Gbps	Small Form Factor plus
SFP 28	25Gbps	Small Form Factor 28
QSFP+	40Gbps	Quad Small Form Factor plus
QSFP28	100Gbps	Quad Small Form Factor 28

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN



ALCANCE DE TRANSMISIÓN – CORTO ALCANCE



ALCANCE DE TRANSMISIÓN – LARGO ALCANCE



SPF PUNTO A PUNTO

- Un SFP punto a punto se refiere a una conexión directa de un módulo SFP (transceptor) desde un dispositivo a otro, formando un único enlace para la comunicación de datos. Esta configuración utiliza el módulo para convertir señales eléctricas en ópticas (y viceversa), permitiendo la transmisión de datos a alta velocidad y largas distancias entre dos puntos específicos, como dos switches o un router y un switch.


ZTE
033030100425
SM-15km-1270Tx/
1330Rx-10G-I
33030200
TR-DX12I-V00
S/N:INGBP0320567 Class 1 laser
ZTE
0330g0100426
SM-15km-1330Tx/
1270Rx-10G-I
33030200
TR-DX33I-V00
S/N:INGBP0330462 Class 1 laser

ZTE 10G 1330TX 1270RX SM 15KM

El transceptor bidireccional ZTE 033030100426 1330nm/1270nm 10Gb/s 10km está diseñado para transmitir y recibir enlaces de datos ópticos en serie con una velocidad de datos de 2,5 a 10,3 Gb/s a través de fibra monomodo G.652. El transceptor cumple con SFF-8432 y partes aplicables de SFF-8431. Las funciones de diagnóstico digital están disponibles a través de una interfaz serial de 2 hilos, como se especifica en SFF-8472.

CÓMO IDENTIFICAR LA LONGITUD DE ONDA DEL MÓDULO ÓPTICO SFP CWDM A TRAVÉS DEL COLOR DEL ANILLO DE CIERRE

Onda frontal (longitud de onda especial SFP CWDM):

longitud de onda (nm)	1270	1290	1310	1330	1350	1370	1390	1410	1430	1450
color del anillo de cierre	Gris	Gris	Gris	Púrpura	Azul	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	Marrón

POTENCIA GPON

Potencia Optica

¿Qué es una ganancia?

Cuando la potencia que sale de un equipo es mayor que la potencia que entra al equipo, se dice que tiene una ganancia de potencia

Ps > Pe = Ganancia
Medida es en dB

Que es un dB (Decibel)?

Un decibelio o dB es una unidad logaritmica y adimensional que se usa para indicar el nivel de ondas acústicas y señales electrónicas en términos de relación o ganancia

$$dB = 10\log\frac{P}{P(ref)}$$

POTENCIA GPON

Los siguientes circuitos tienen una potencia de entrada y otra de salida. Calcula las ganancias de cada uno.

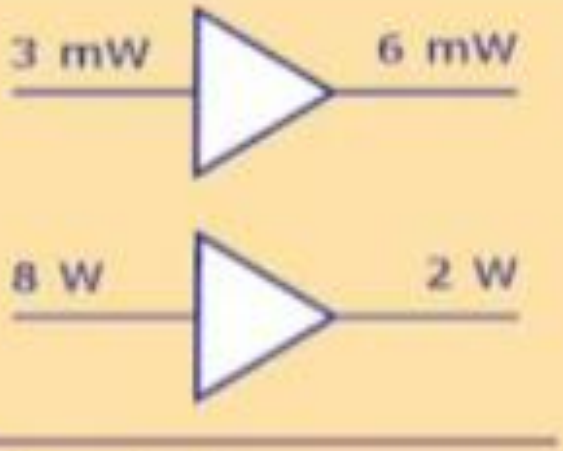


Figura 2.17.

Solución:

$$G(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{6}{3} = \mathbf{3\ dB}$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{2}{8} = \mathbf{-12\ dB}$$

POTENCIA GPON - ATENUACIÓN

¿Qué es una atenuacion?

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

$$dB = 10\log\frac{P}{P(ref)}$$



POTENCIA GPON

Que es un dBm ?

dBm – unidad de nivel absoluto con respecto a la potencia de 1 mW (milivatio): de acuerdo con las reglas, se debe utilizar la expresión de dBmW, pero en este caso se ha empleado excepcionalmente la expresión de dBm.

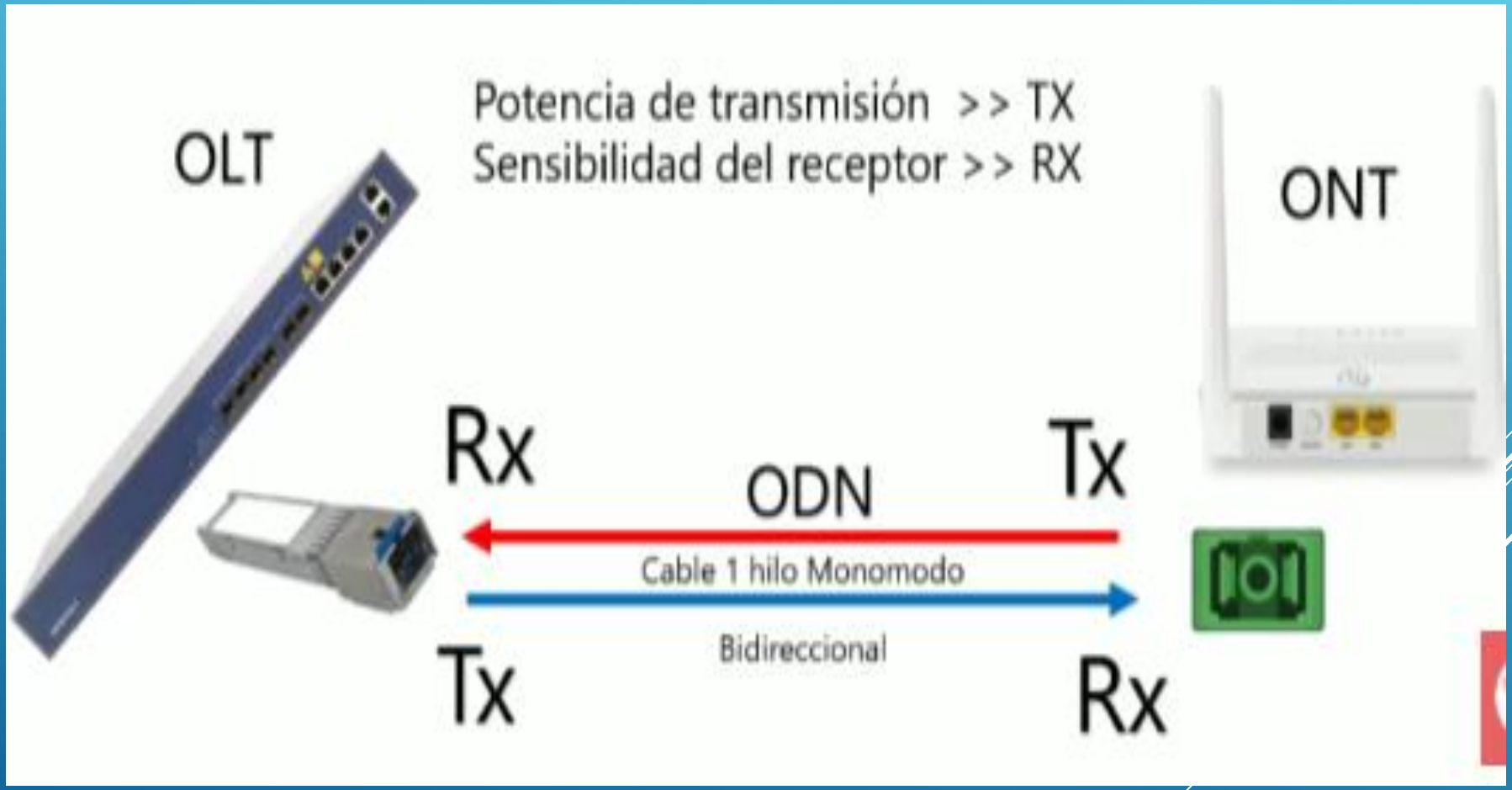
$$dB = 10\log\frac{P}{P(ref)} \Rightarrow P(dBm) = 10\log\frac{P(mW)}{1\text{mW}}$$

POTENCIA GPON

- Tabla dBm

1 mW	= 0 dBm
2 mW	= 3 dBm
4 mW	= 6 dBm
8 mW	= 9 dBm
10 mW	= 10 dBm
20 mW	= 13 dBm
50 mW	= 17 dBm
100 mW	= 20 dBm
200 mW	= 23 dBm
500 mW	= 27 dBm
1000 mW (1W)	= 30 dBr

POTENCIA GPON



POTENCIA GPON



Potencia OLT

clase	tipo	Longitud de onda	velocidad	Tx minimo	Tx maximo	Rx minimo	Rx maximo	Alacen maximo
B+	Bidireccional 1 fibra	Tx: 1490 nm Rx: 1310 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	1,5 dBm	5 dBm	- 28 dBm	-8 dBm	20 km
C+	Bidireccional 1 fibra	Tx: 1490 nm Rx: 1310 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	3 dBm	7 dBm	-32 dBm	- 12 dBm	20 km
C++	Bidireccional 1 fibra	Tx: 1490 nm Rx: 1310 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	6 dBm	10 dBm	- 35 dBm	-15 dBm	20 km







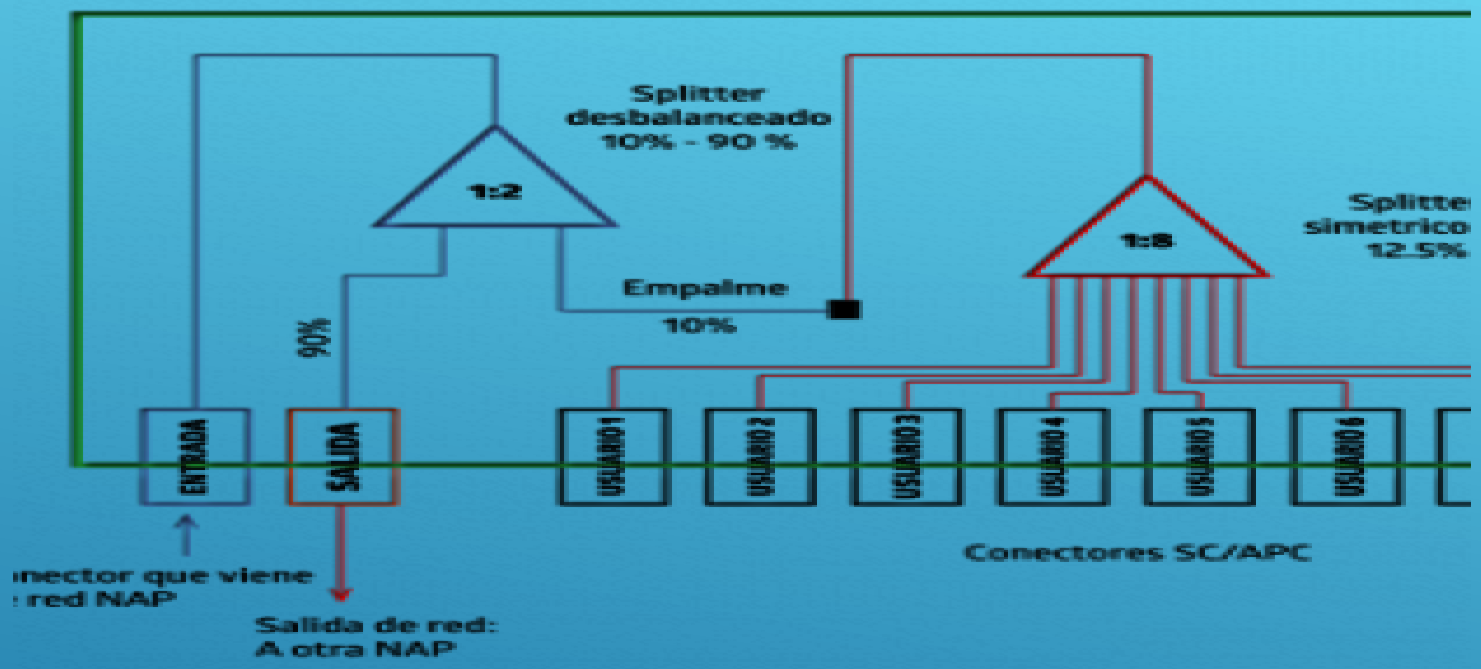
POTENCIA GPON

Potencia ONT

TIPO	Longitud de onda	velocidad	Tx minimo	Tx maximo	Rx minimo	Rx maximo	Alacen maximo
GPON	Tx: 1290~1330nm Rx: 1480~1500nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	0.5 dBm	5 dBm	-28 dBm	- 7 dBm	20 km







RED GPON DESBALANCEADA