

22 al 24 de
abril.09
Cholula
Puebla, México



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM



REDES ÓPTICAS

Dr. Ramón Gutiérrez Castrejón

Instituto de Ingeniería, UNAM

21 y 22 de abril de 2009, UdLA, Cholula, Pue.

RGutierrezC@ii.unam.mx

I. CONCEPTOS BASICOS

Introducción Conceptual

TELECOMUNICACION

A DISTANCIA

INTERCAMBIO DE INFORMACION

Telecomunicaciones hoy en día:

Intercambiar la mayor cantidad de información entre dos puntos lo más alejados entre sí posible



Introducción Conceptual

Parámetros de desempeño:

Distancia

L [km]

Cantidad de Información o
"bit rate" (sists. digitales)

B [b/s]

Nuestro propósito es maximizar $B \times L =$ Capacidad del Sistema

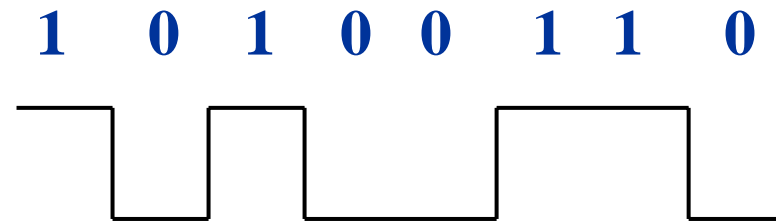
Señal Analógica $\xrightarrow[\text{A/D}]{\text{Conversión}}$ Señal Digital (bits)

Convertir la señal (ej. voz) en secuencia de 0 y 1.

Introducción Conceptual

Amplitude Shift Keying (ASK) or On-Off Keying (OOK):

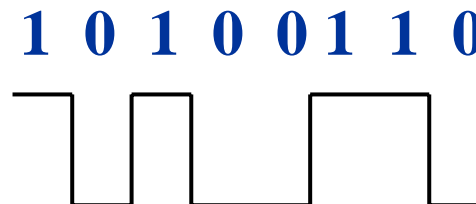
- Nonreturn to Zero (NRZ)
(menor ancho de banda)



- Return to Zero (RZ)



Mayor **B**:



¿Por qué usar señales digitales?

- **Integridad.-** la regeneración digital evita la acumulación de degradación de señal.
- **Tecnología.-** los circuitos digitales son mas baratos que los analógicos.
- **Integración.-** todas las señales en el mismo sistema de transmisión.
- **Seguridad.-** encriptar es simple con datos en formato digital.

¿Por qué el interés en la fibra óptica?

- Una llamada telefónica requiere **B** = 64 kb/s.
- Telégrafo: **B x L** = (0.01, 1) kb/s-km.
- Mejor Cable Coaxial: **B x L** = 200 000 kb/s-km
(equivalente a treinta llamadas telefónicas de 100 Kms)

Introducción Conceptual

- Peor sistema de fibra óptica:

$$B \times L = 1 \text{ Gb/s-km}$$

(5 veces más capacidad que el mejor c. coaxial)

- Sistemas intercontinentales operando actualmente:

$$B \times L \approx 10 \text{ Tb/s-km}$$

- Fibra óptica permite, en principio,

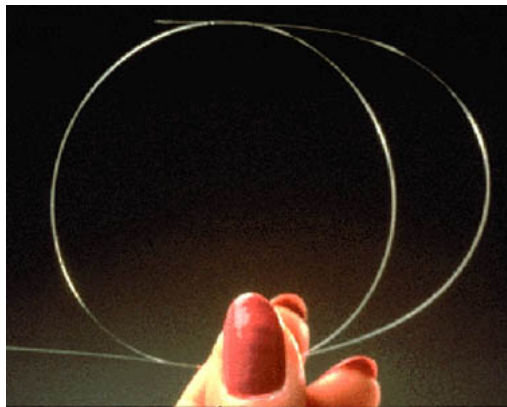
$$B > 10 \text{ Tb/s a través de varios kms. !!}$$

- 50 mil veces más que la **B** transmitida en el mejor cable coaxial a través de un km.

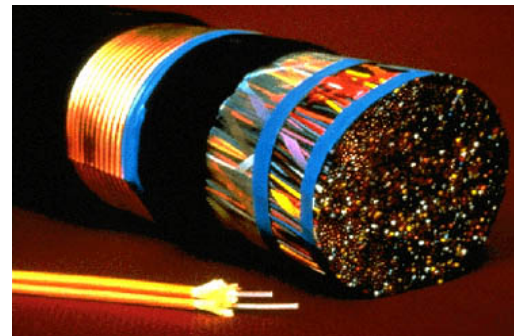
¿Por qué el interés en la fibra óptica?

Porque una fibra óptica es el medio de transmisión guiado que **más información** permite transmitir a kilómetros de **distancia**.

Una fibra óptica como esta



permite transmitir tanta información como este pesado cable de cobre



Introducción Conceptual

Una **B** de 10 Tb/s permite:

- 156 M llamadas telefónicas simultáneamente.
- 100 mil videoconferencias simultáneas (de 100 Mb/s).

Pero no hemos logrado explotar los 10 Tb/s.

Ese es el reto!

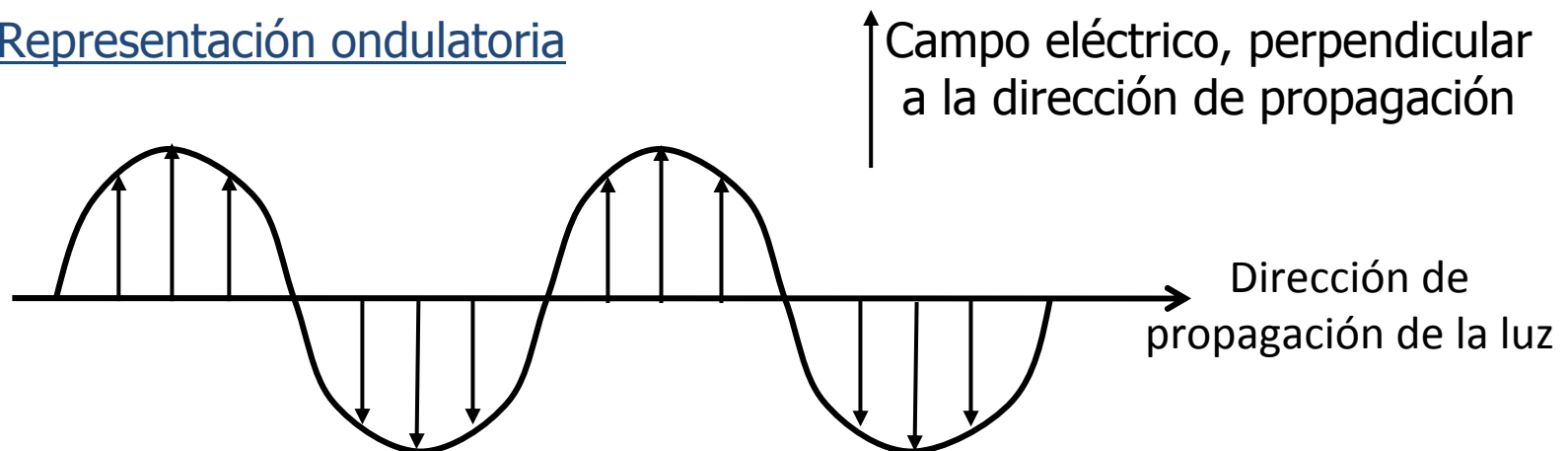
El mercado requiere personal preparado en tecnología de telecomunicaciones, la cual estará basada en fibra óptica.

Física de la Luz

La luz se puede entender como:

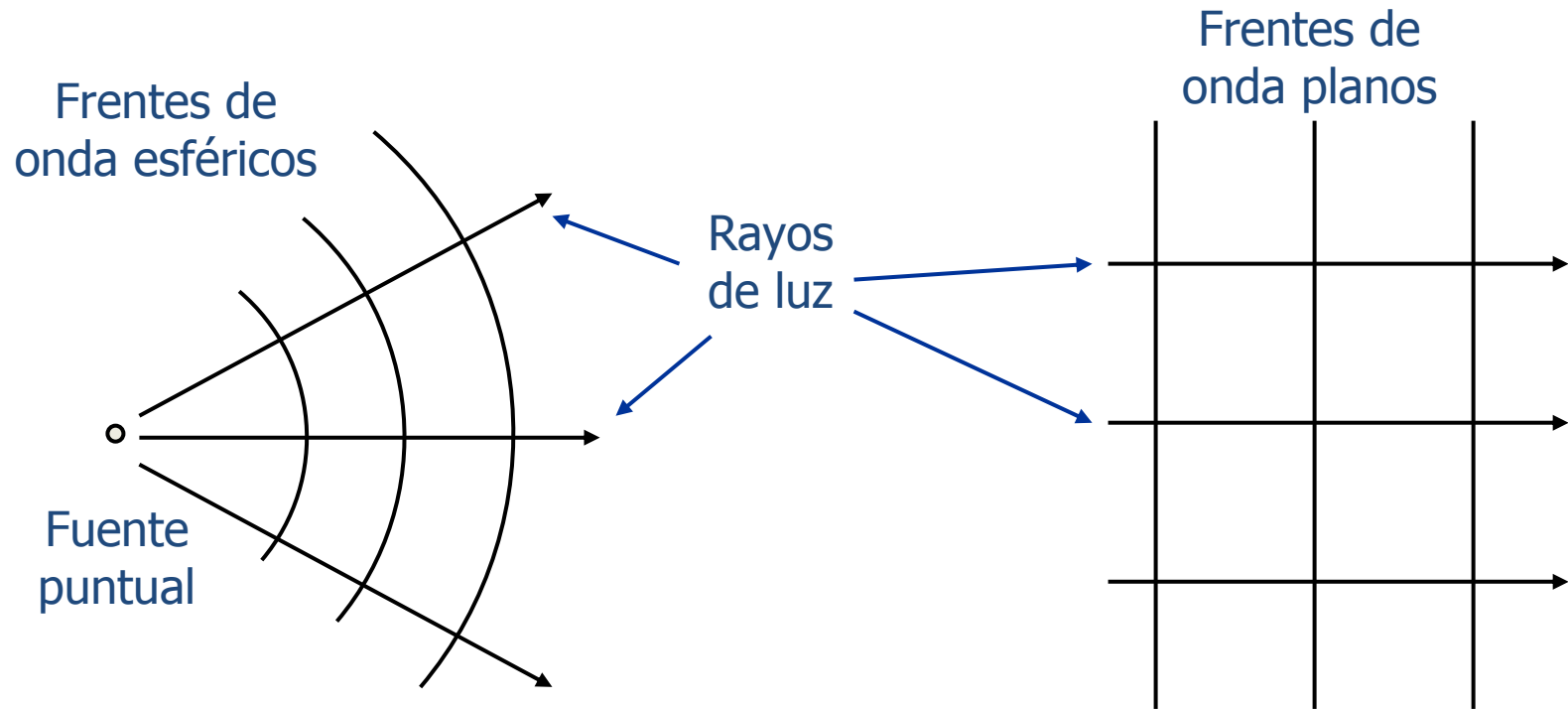
- Una onda electromagnética transversal.
- Un haz o rayo.
- Una corriente de fotones.

Representación ondulatoria



La luz como un haz o rayo

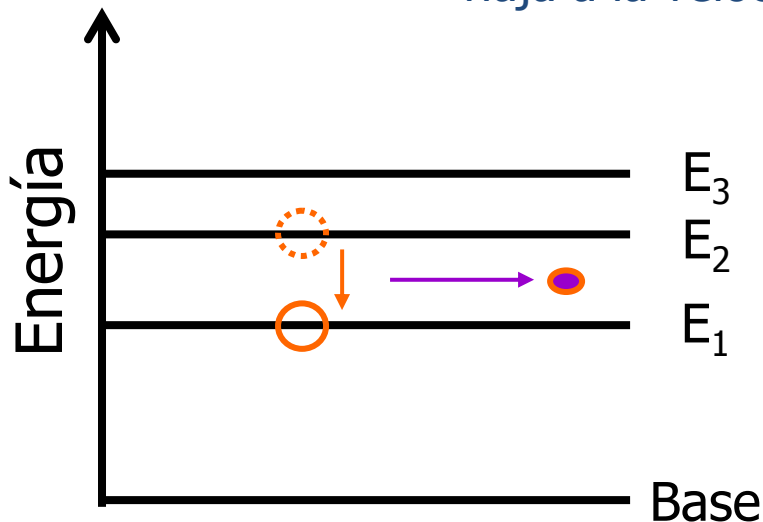
Representación de la óptica geométrica



La luz como una corriente de fotones

Representación cuántica de la óptica

Fotón: partícula elemental que transporta un cuanto de energía y que viaja a la velocidad de la luz c .

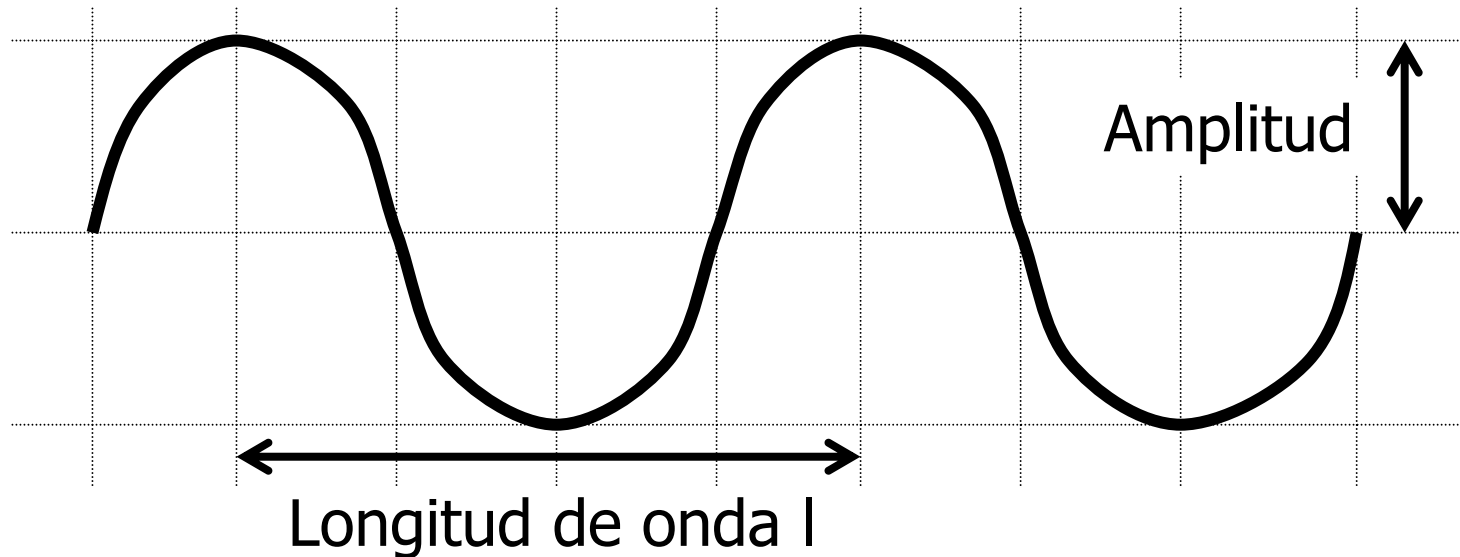


$$E_2 - E_1 = \Delta E$$

Cuando un electrón salta de un nivel alto de energía a uno bajo, emite un fotón de energía ΔE .

Onda electromagnética

Frecuencia de portadora = 193 THz = 193×10^{12} ciclos/s.

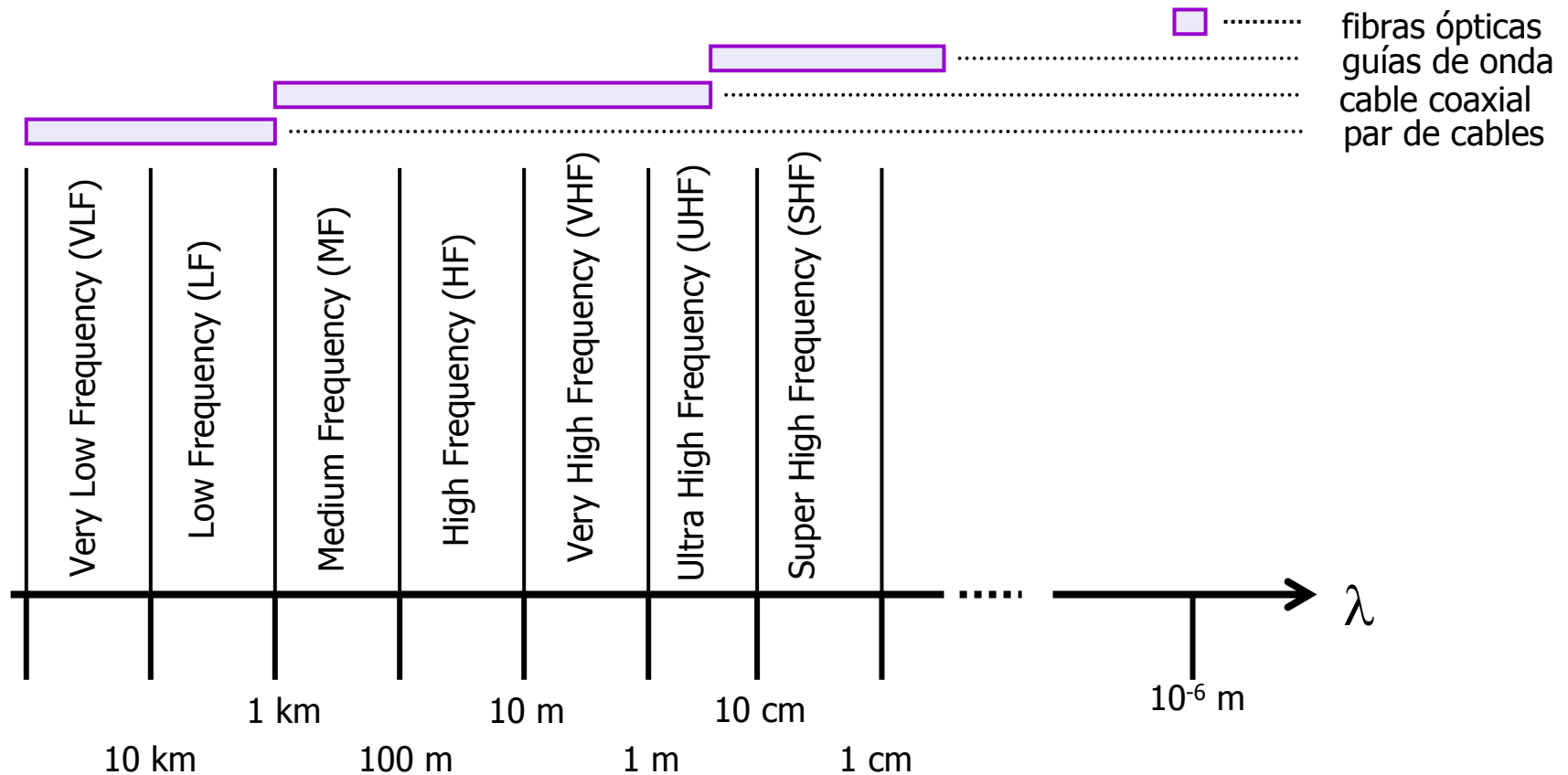


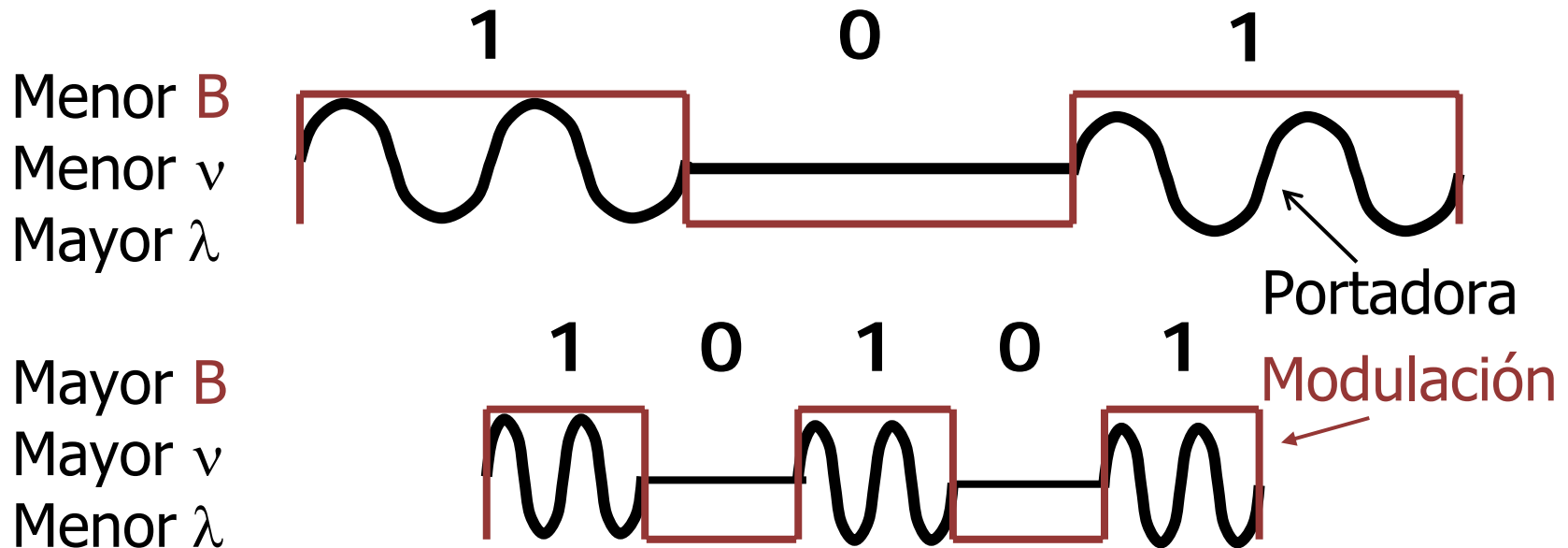
$$v\lambda = c, \text{ con}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = c/v = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{193 \times 10^{12} \text{ 1/s}} \approx 1550 \text{ nm}$$

Espectro EM





Aumenta $\nu \Rightarrow$ disminuye $\lambda \Rightarrow$ aumenta B

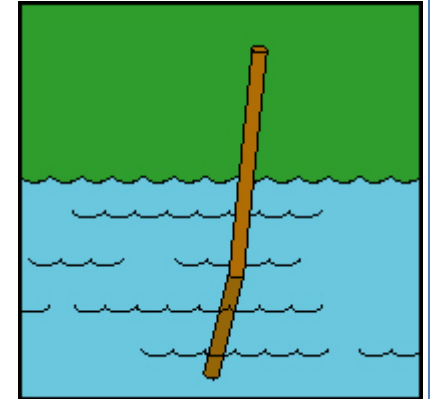
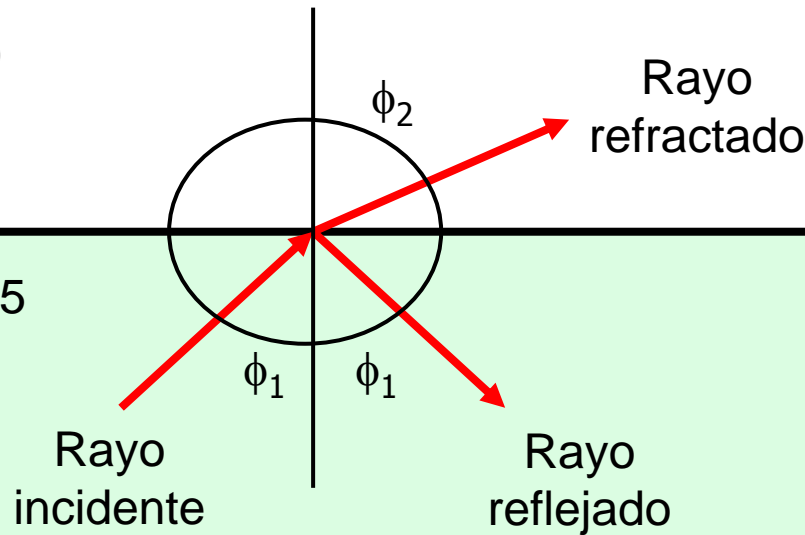
Con mayor n , podemos modular más rápido y por tanto podemos transmitir más bits por segundo, o sea, transmitir con mayor B

Refracción de la luz

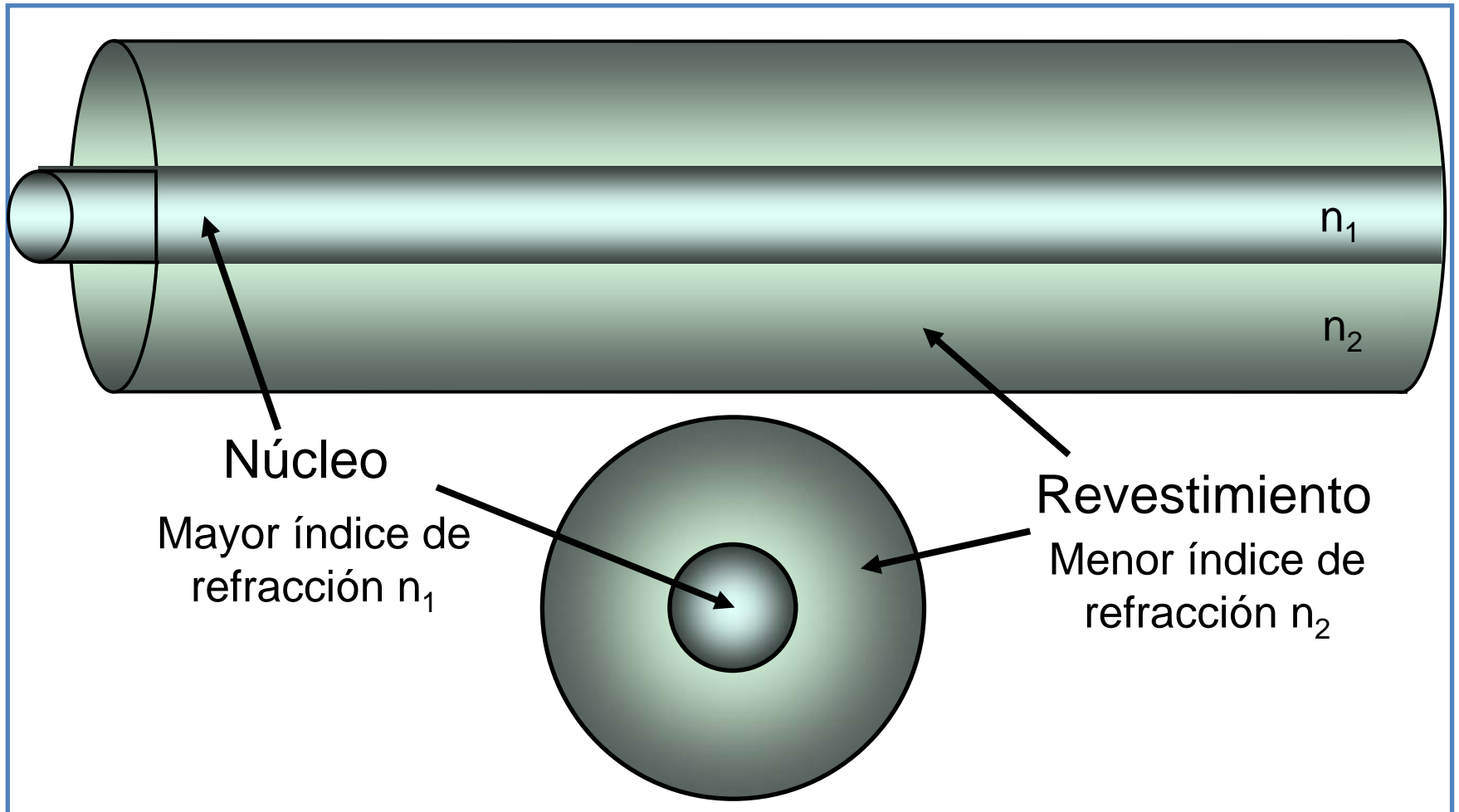
La refracción (del latín *fractum*, "quebrado") es el cambio de dirección de un rayo de luz cuando pasa de un material con un índice de refracción dado a un material con otro índice de refracción.

Aire: $n_2 = 1.0$

Vidrio: $n_1 = 1.5$

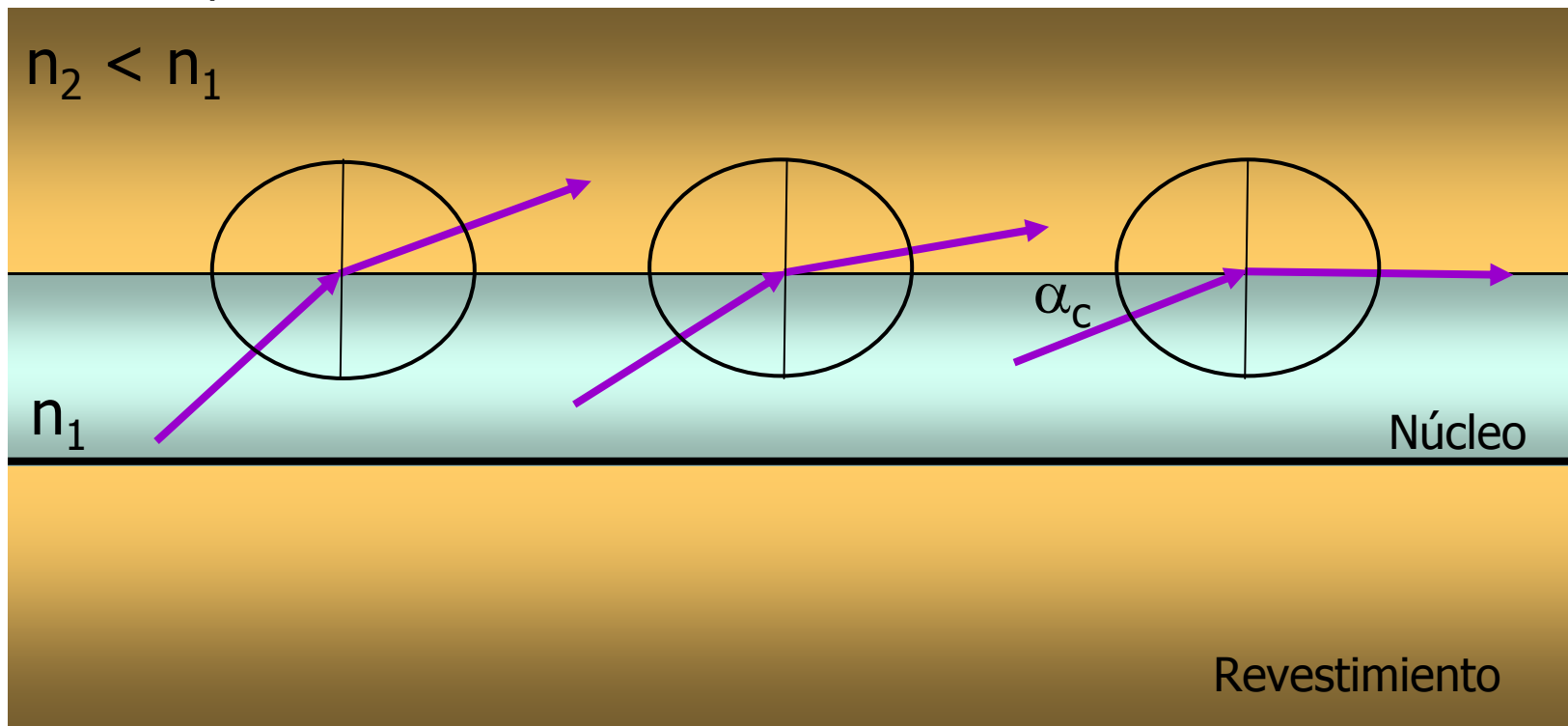


Fibras ópticas



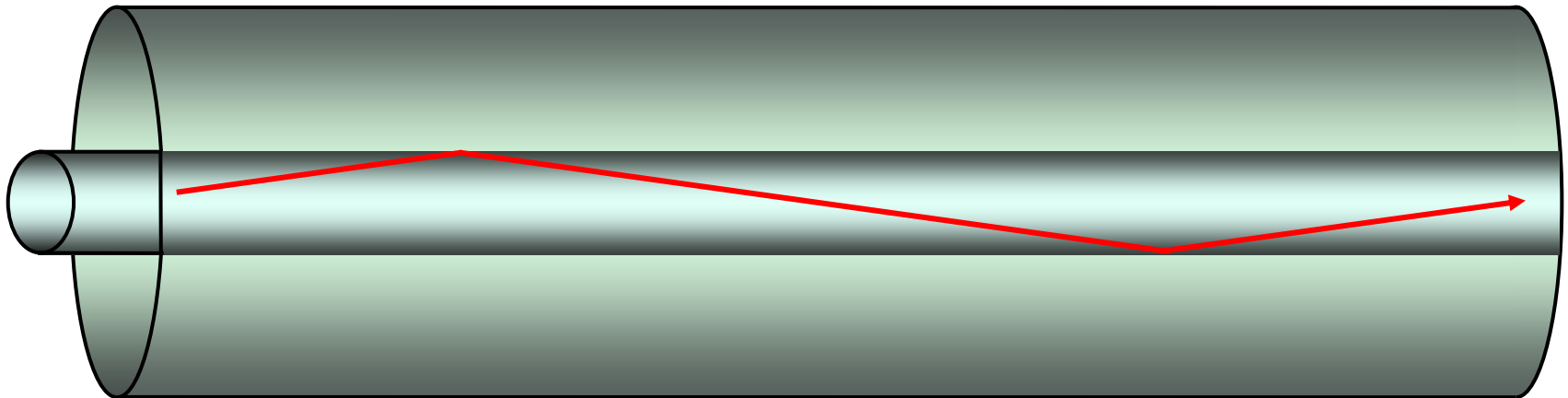
Ángulo crítico

Fibra óptica



La fibra óptica puede entonces guiar la luz

Gracias a que la fibra está hecha de dos vidrios con índice de refracción diferentes, ocurre el fenómeno de reflexión interna total. Este fenómeno es el que permite a la fibra óptica guiar la luz a través de ella, y por tanto, la información (datos, sonidos, imágenes) que en ella se transmite.

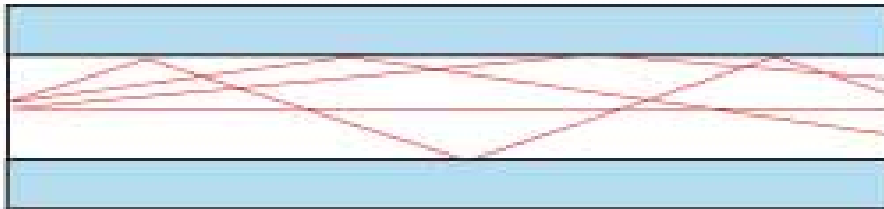


Tipos de fibras

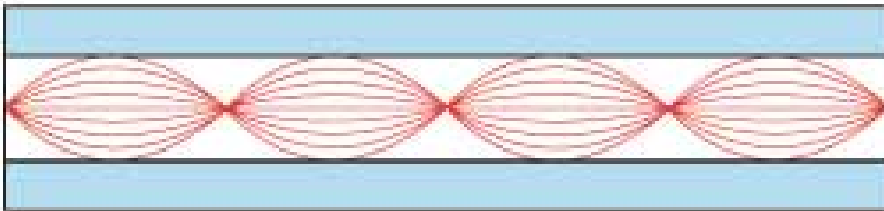
Existen tres tipos de fibras:

- Fibras ópticas de plástico (POFs).
- Fibras mono-modo de SiO_2 .
 - Núcleo estrecho de 8.3 a 10 μm de diámetro
 - Diámetro exterior (revestimiento) de 125 μm
 - Tasas de bits altas y distancias de varios kilómetros.
- Fibras multi-modo de SiO_2 . →
 - Núcleo amplio de 50 a 100 μm de diámetro (62.5 μm es común)
 - Diámetro exterior (revestimiento) de 125 μm
 - Tasas de bits menores a un Gb/s y distancias de hasta 2 kms

Fibras ópticas



Fibra multi-modo de índice abrupto



Fibra multi-modo de índice gradual



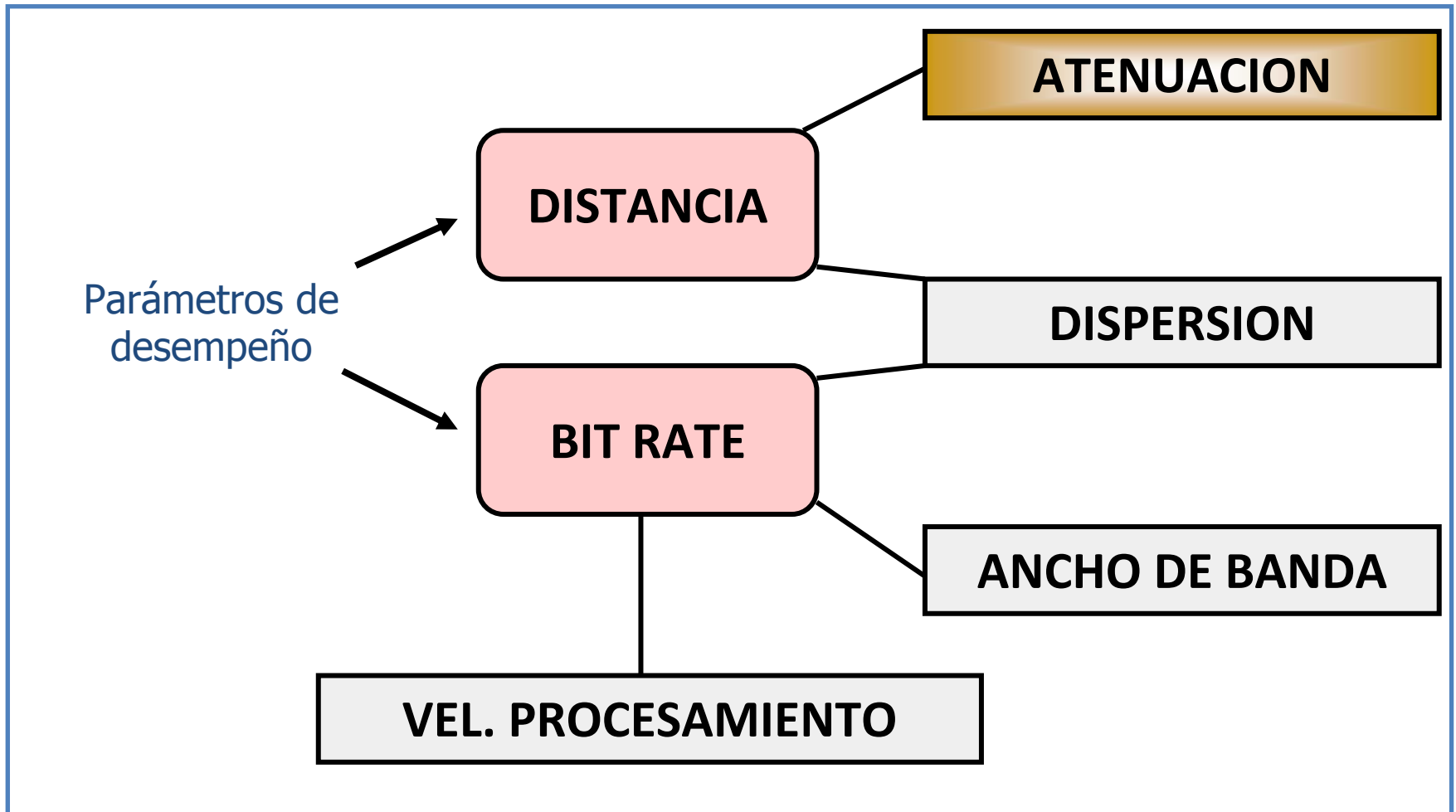
Fibra mono-modo

En las fibras multi-modo cada modo (rayo) sigue una trayectoria diferente

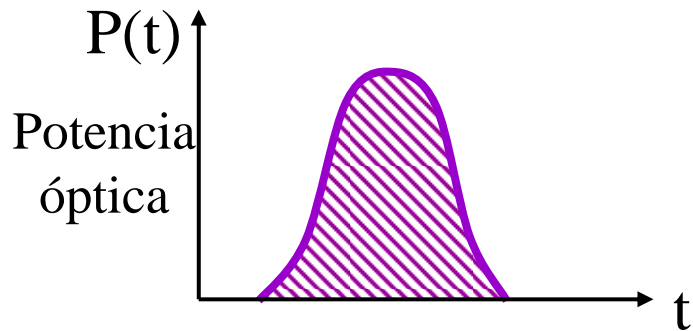
Compensa la diferencia de “distancia recorrida” por cada modo

Solamente cabe un modo fundamental que se propaga

Atenuación

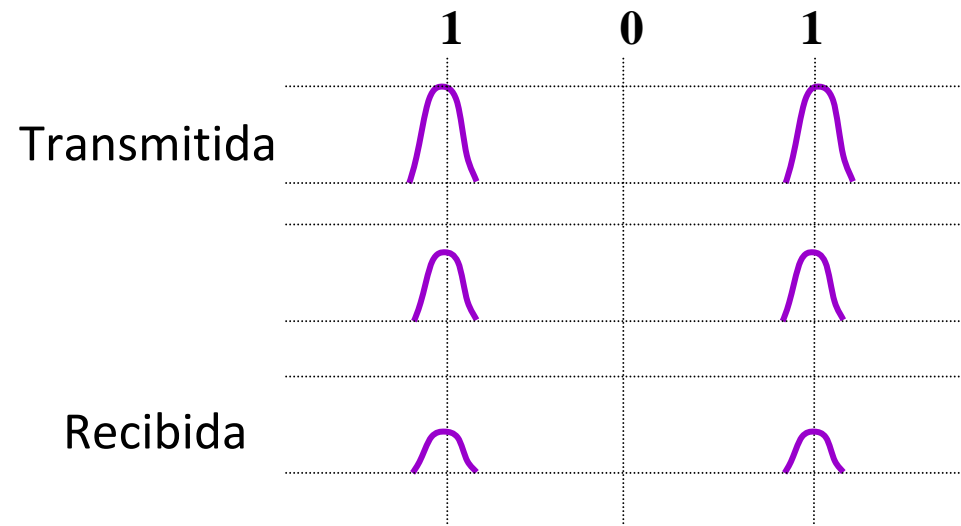


Atenuación de la señal óptica



$$A = (10 \log_{10} \frac{E_T}{E_R}) / Dist.$$

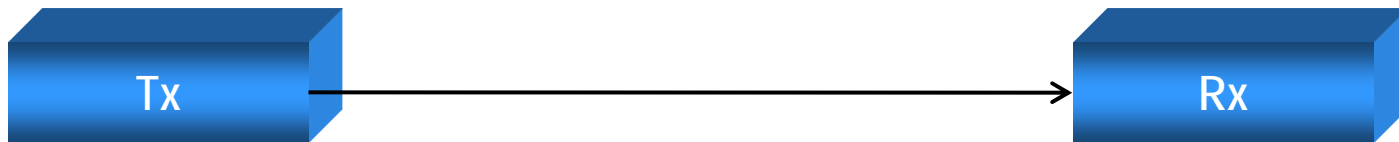
Para una gran atenuación el receptor no puede distinguir si el pulso corresponde a un 0 ó a un 1.



Ejemplo

Tipo de vidrio		Atenuación	Distancia (Aten. de 40 dB)
Vidrio más puro disponible en:	1966	1000 dB/km	40 m

Suponer que la máxima atenuación permitida es de 40 dB



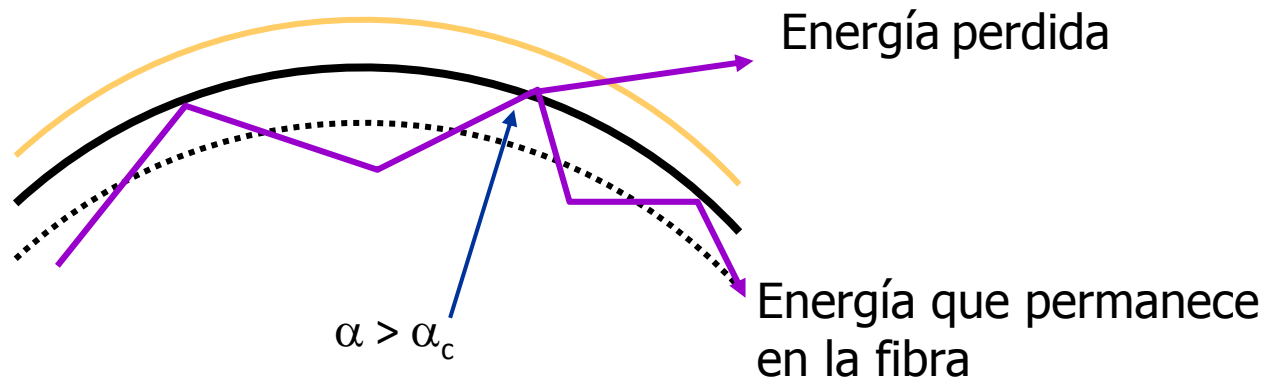
$$\text{Distancia} = (\text{Max. Atenuación}) / \text{Atenuación}$$

$$\text{Distancia} = (40 \text{ dB}) / (1000 \text{ dB/km}) = 40 \text{ m}$$

Causas de la Atenuación

Pérdidas por curvatura de la fibra

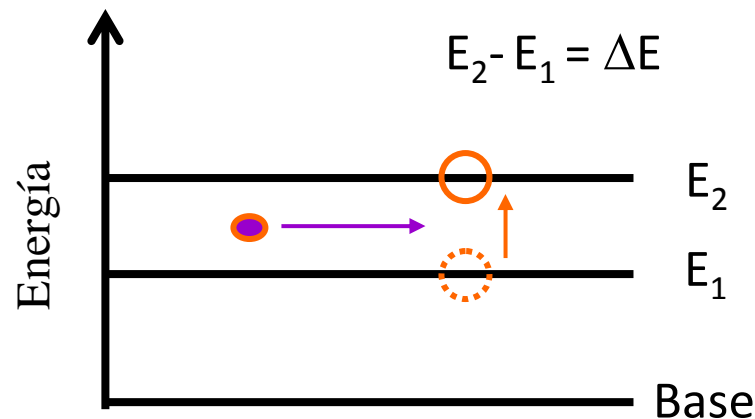
- Para una curvatura de 32 mm de diámetro se observa un 11% de pérdida de energía de la señal.
- En general, radio del dobléz > 150 X diámetro del revestimiento
Ej: $r_{rev} \approx 125 \text{ mm} \Rightarrow 19 \text{ mm}$ radio de curvatura.



Causas de la Atenuación

Pérdidas por absorción

Todo material absorbe a mayor o menor medida la luz a determinadas λ s, reduciendo así su nivel de transparencia, este fenómeno se presenta cuando la energía del fotón es igual a la ΔE del material.



Causas de la Atenuación

Absorción intrínseca:

La transparencia de vidrio puro está limitada por absorciones producidas por:

- Resonancias en el ultra-violeta asociadas a la estructura electrónica de los átomos del cristal.
- Resonancias en el infra-rojo asociadas con vibraciones de los átomos en el latiz.

Absorción extrínseca:

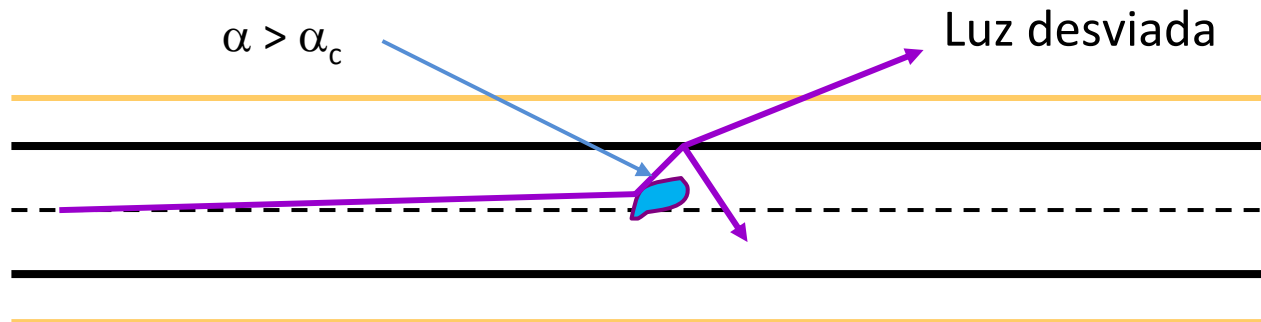
Absorción producida por impurezas:

- Fe, Cu, Cr, Mn y iones de OH

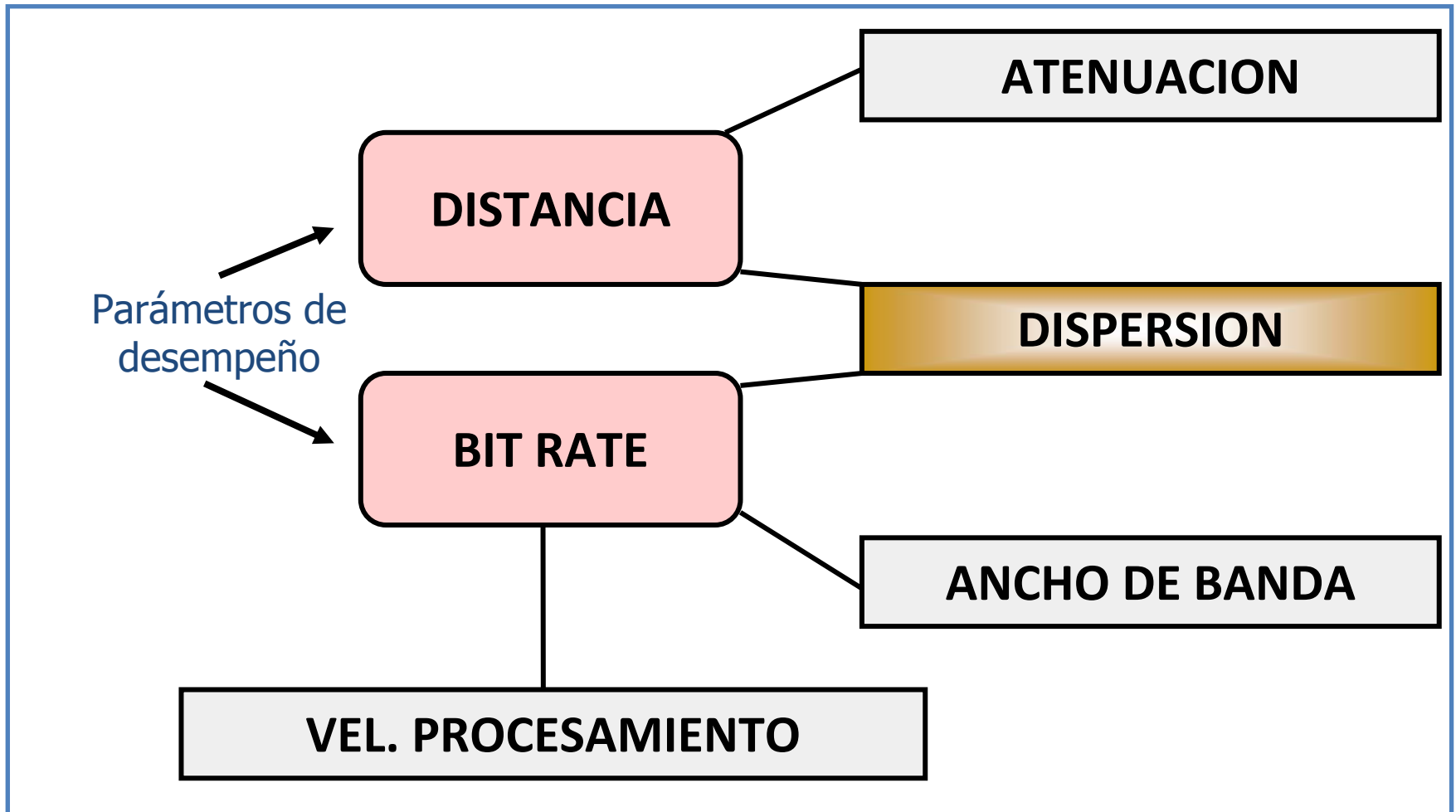
Causas de la Atenuación

Pérdidas por Rayleigh Scattering (no eliminable)

Cuando el haz de luz propagándose en la fibra "colisiona" con fluctuaciones de densidad (índice de refracción) microscópicas parte de la luz del haz es desviada, escapando de la trayectoria impuesta por la fibra.

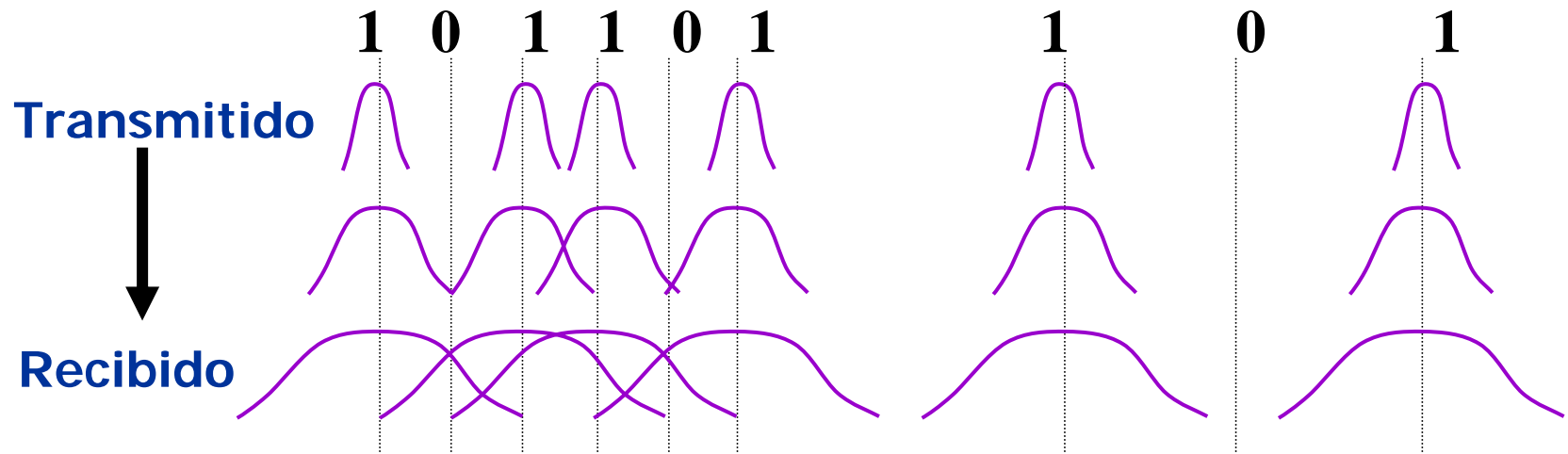


Dispersión



Dispersión

La dispersión produce ensanchamiento de los pulsos y limita la máxima **B** aceptable.



Dispersión

Dispersión del Material

Controlada con las impurezas de la fibra.

Es producida por la dependencia del índice de refracción de la fibra en la longitud de onda $n(\lambda)$

+

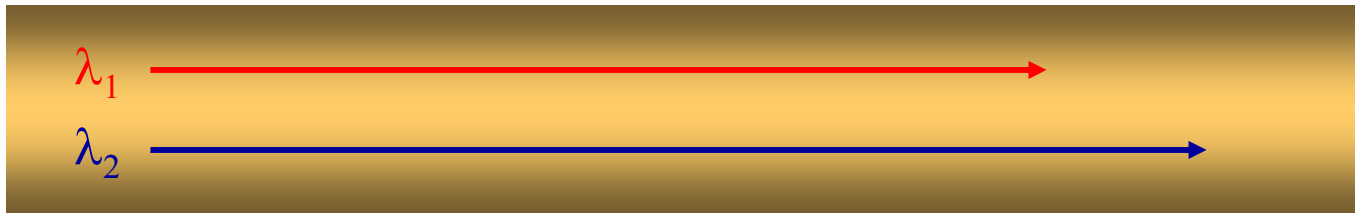
Dispersión de Guía de Onda

Controlada con la variación del índice de refracción de la fibra.

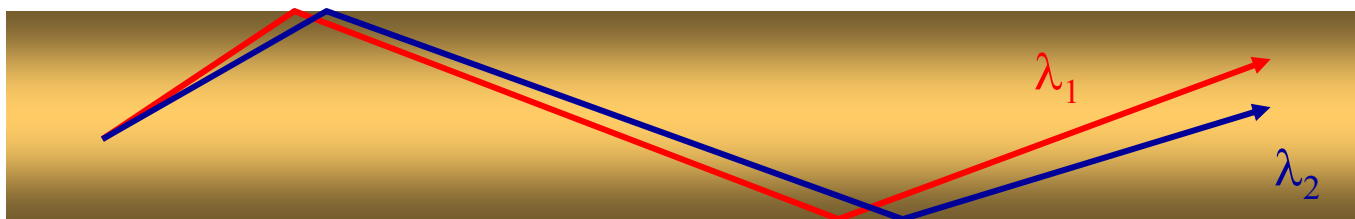
Es producida por la forma en que una cierta geometría de la fibra afecta a distintas longitudes de onda.

Dispersión en fibras mono-modo (Intra-modal Dispersion):

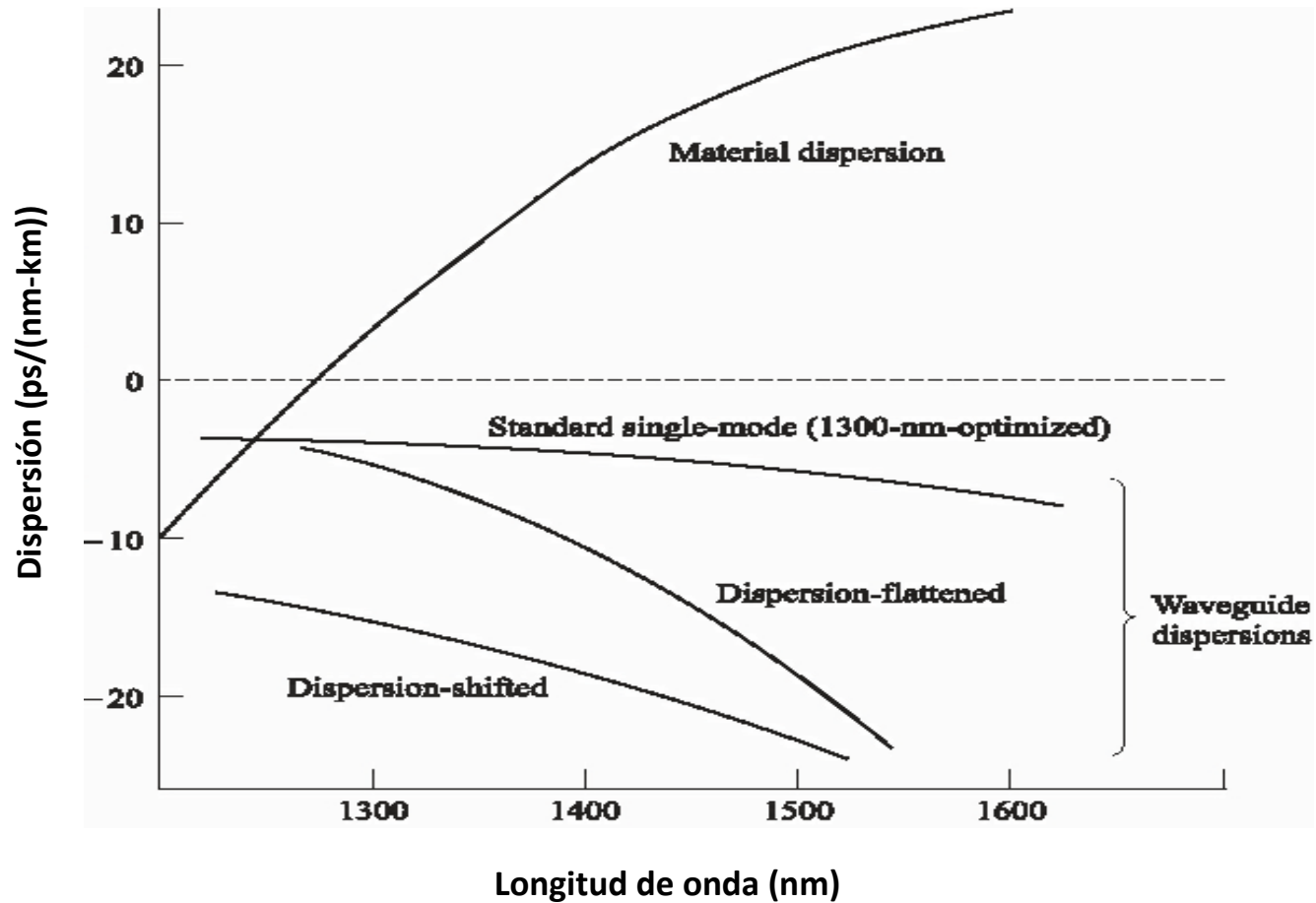
Dispersión del Material



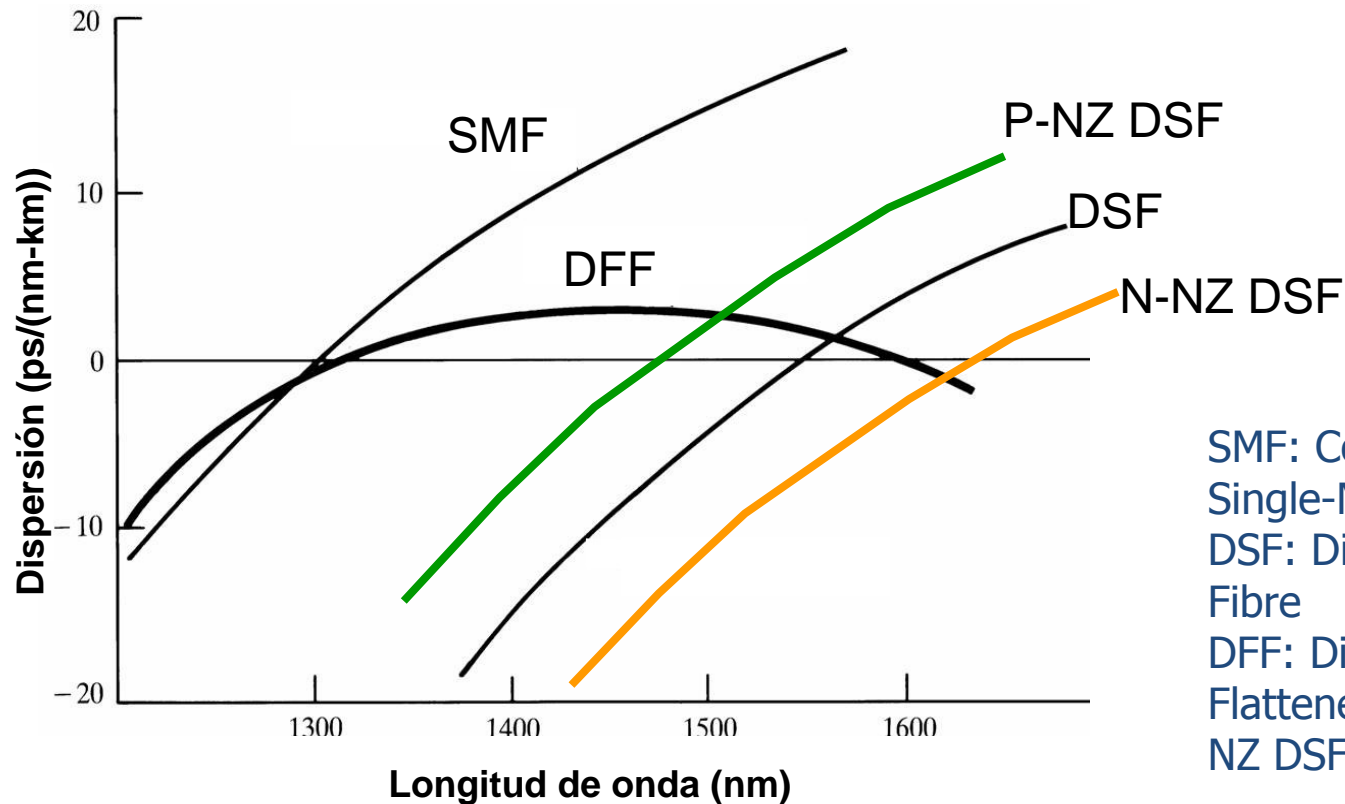
Dispersión de Guía de Onda



Clases de Fibras



Clases de Fibras

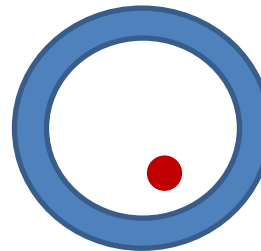
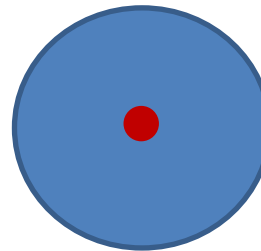


II. CABLES OPTICOS

Cables ópticos

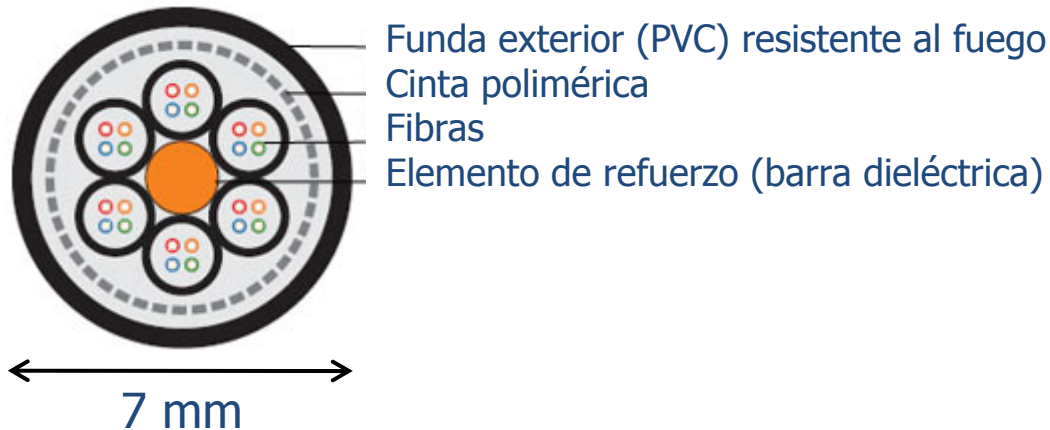
Existen dos tipos de cables:

- Cables de buffer ceñido
- Cables de buffer holgado
 - Hueco. Posee una cavidad sobredimensionada
 - Relleno de material hidrófobo para impedir paso de agua a la fibra



Cable óptico interior

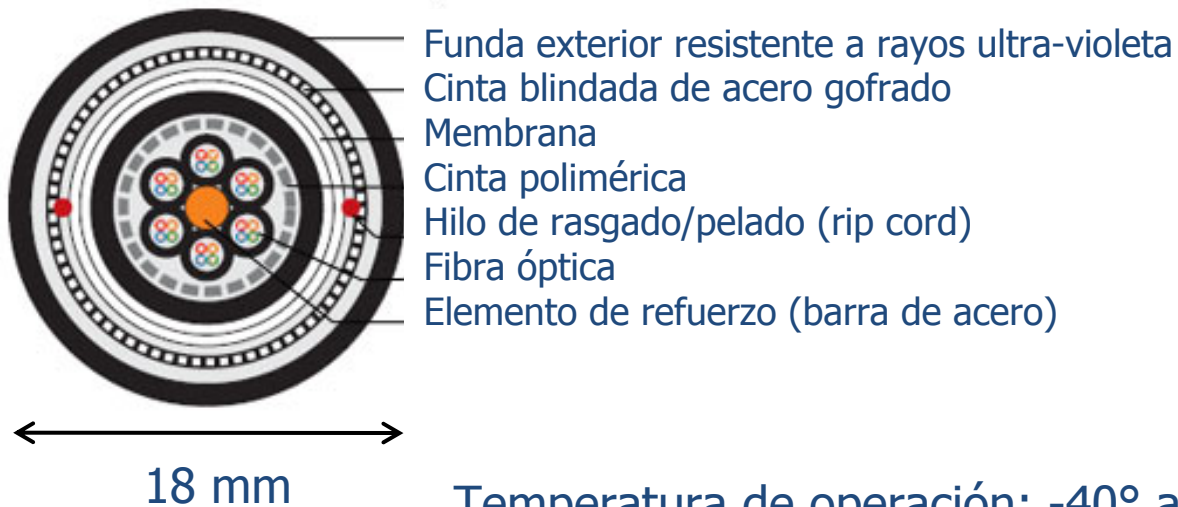
Multi-tubo holgado



Temperatura de operación: -25° a $+75^{\circ}$ C
Peso de un km de cable: alrededor de 40 kg
Produce un nivel bajo de humo
Fácil de manejar y acepta un alto nivel de curvatura

Cable óptico exterior

Multi-tubo holgado blindado con cinta de acero



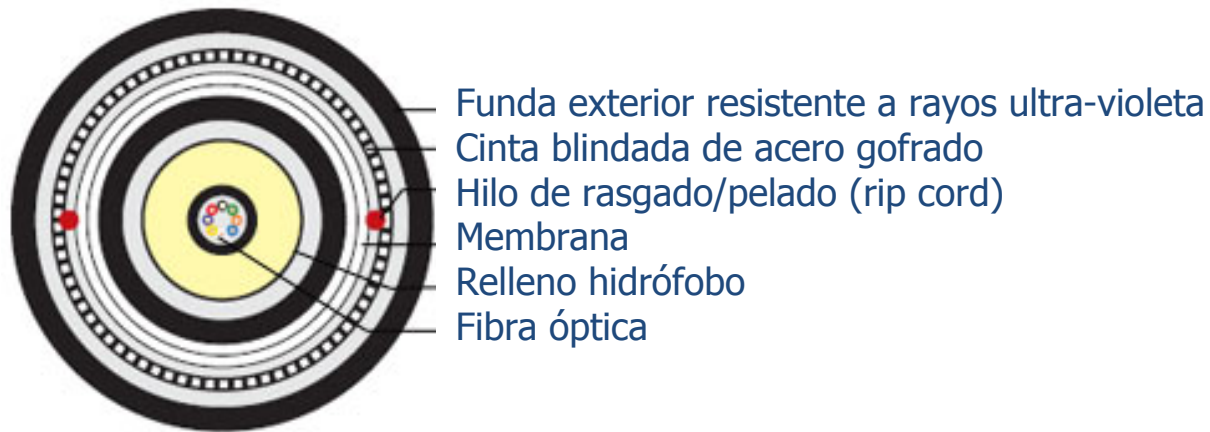
Temperatura de operación: -40° a $+75^{\circ}$ C

Peso de un km de cable: alrededor de 210-420 kg

Cable pesado y que acepta un bajo nivel de curvatura

Cable óptico exterior

Mono-tubo holgado blindado con cinta de acero

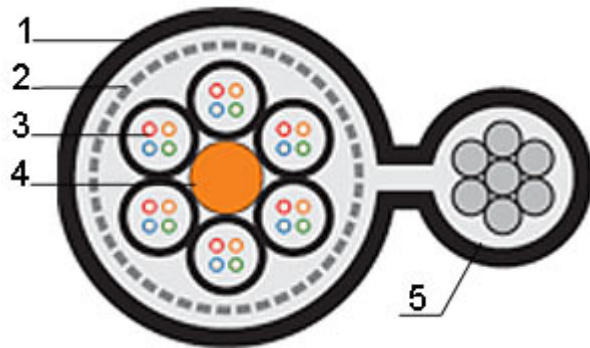


12 mm

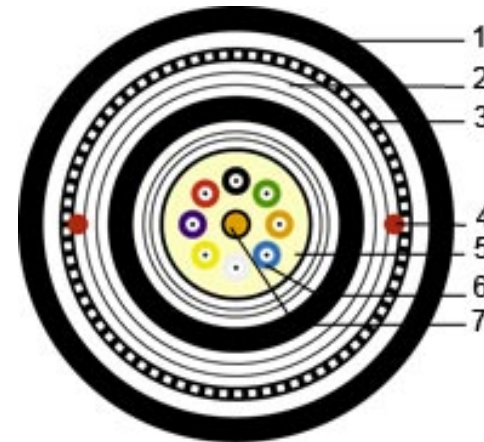
Temperatura de operación: -40° a $+75^{\circ}$ C
Peso de un km de cable: alrededor de 150 kg
Se utiliza en redes locales

Cable óptico exterior

Multi-tubo holgado
auto-soportado: aereo



Mono-tubo ceñido blindado
con cinta de acero



Empalmes

Mecánico

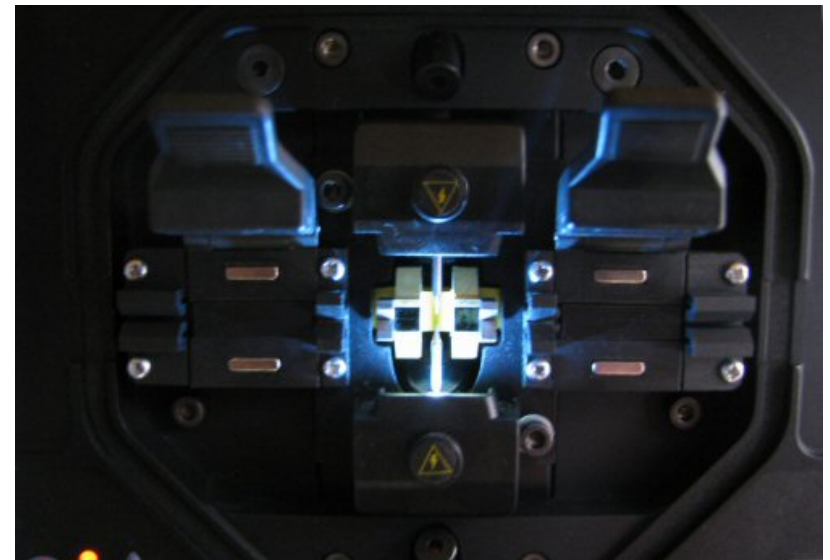
- Usado cuando el montaje no es permanente
- Se utiliza un elemento de auto-alineamiento y sujeción para que las caras del núcleo de la fibra coincidan
- Se fijan los extremos de las fibras utilizando un adhesivo adaptador del índice de refracción

Fusión

- Usado cuando el montaje es permanente
- Se alinean las fibras utilizando una empalmadora y se funde la fibra usando un arco eléctrico
- Posteriormente se coloca un cubierta protectora.
- Es el empalme que más se utiliza

Empalmes

Empalme por fusión



Empalme mecánico



Conectores

Conector	Nombre	Pérdidas	Uso
	FC	0.20 (MM) 0.25 (SM)	Se usa en redes mono-modo (ya no tanto) y equipo de medición
	LC	0.20 (MM) 0.25 (SM)	Conexión de alta densidad cuando el espacio es limitado
	SC	0.20 (MM) 0.25 (SM)	Se usa en sistemas de redes mono-modo, datos
	ST	0.20 (MM) 0.20 (SM)	Se usa en redes multi-modo

Código de colores

Color de conector	Fibra
Azul	Fibra mono-modo PC (physical contact)
Gris o Crema	Fibra multi-modo PC (physical contact)
Verde	Fibra mono-modo APC (angle polished contact)
Rojo	Fibras de alta potencia (láseres de bombeo)



PC
< - 40 dB
retro-reflección

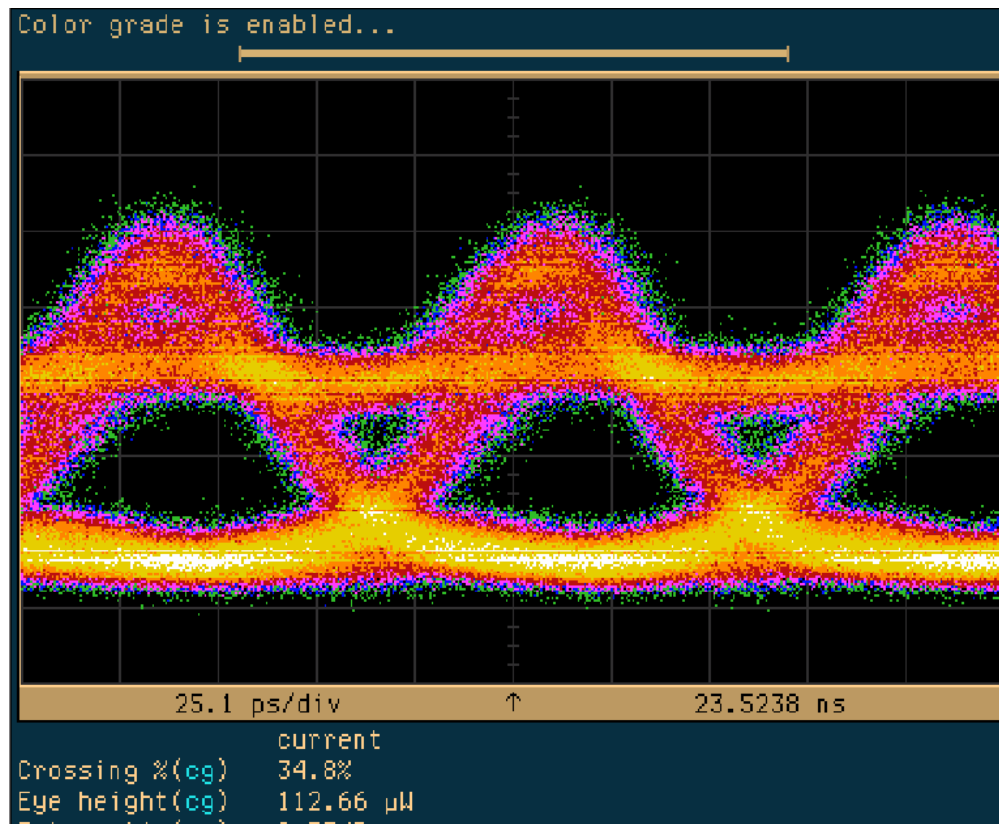


APC
< - 60 dB
retro-reflección

Color de fibra	Fibra
Amarillo	Fibra mono-modo
Naranja	Fibra multi-modo
Azul	A veces usado para fibra que mantiene polarización

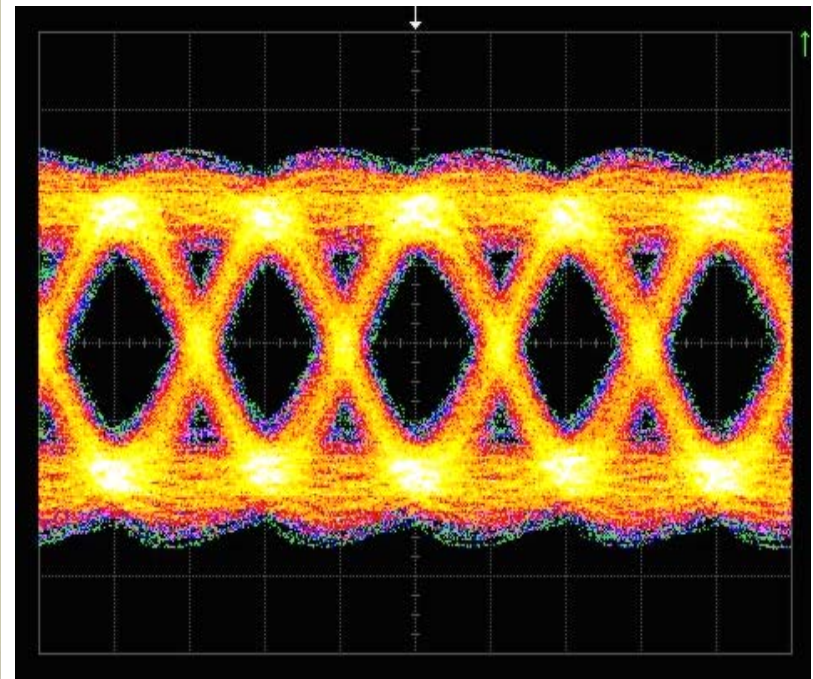
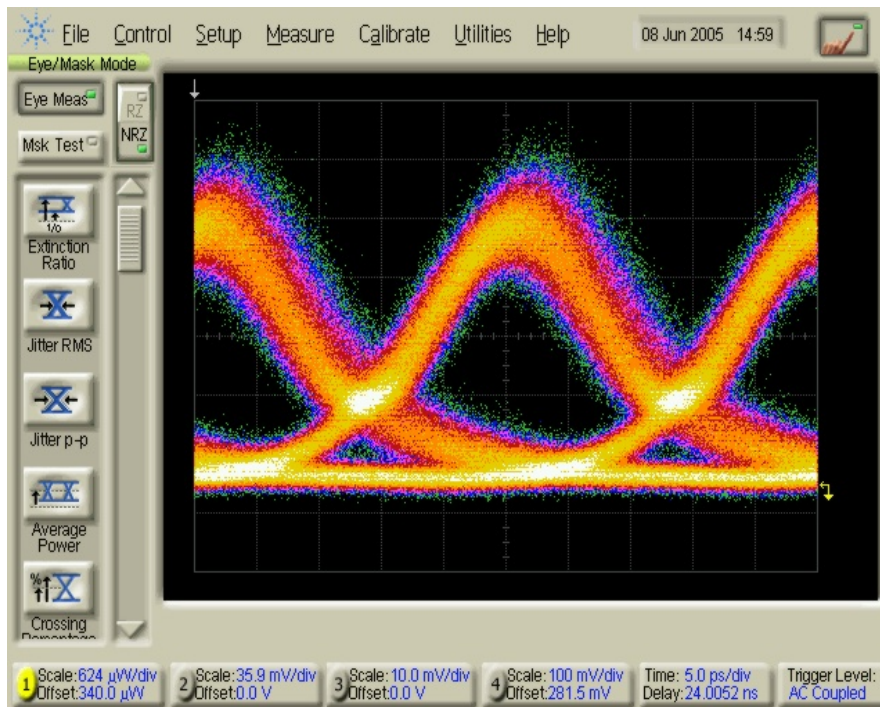
Equipo de medición/Diagrama de ojo

Ejemplos de diagramas de ojo:



Equipo de medición/Diagrama de ojo

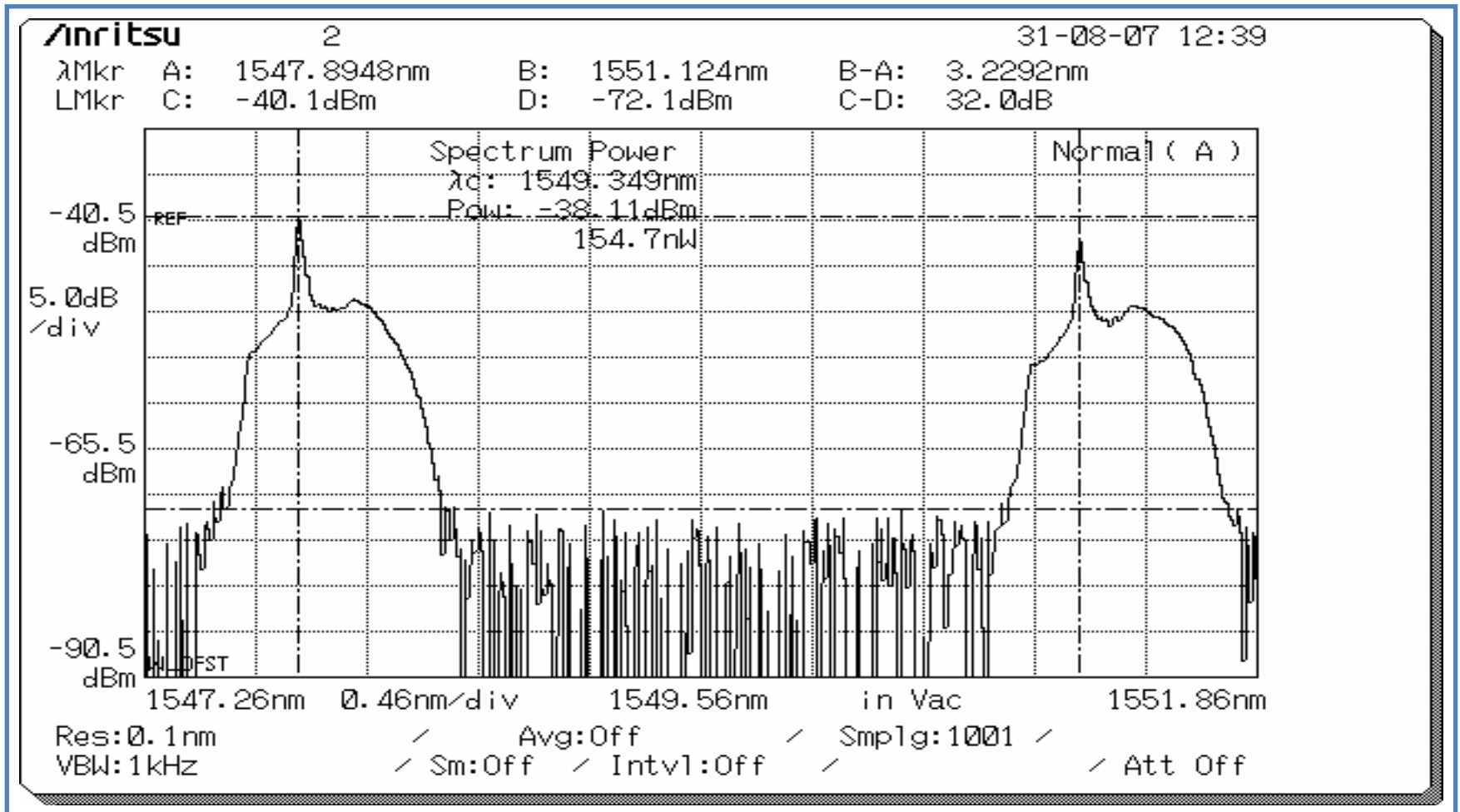
Ejemplos de diagramas de ojo:



Equipo de medición/Analizador de Espectro Óptico

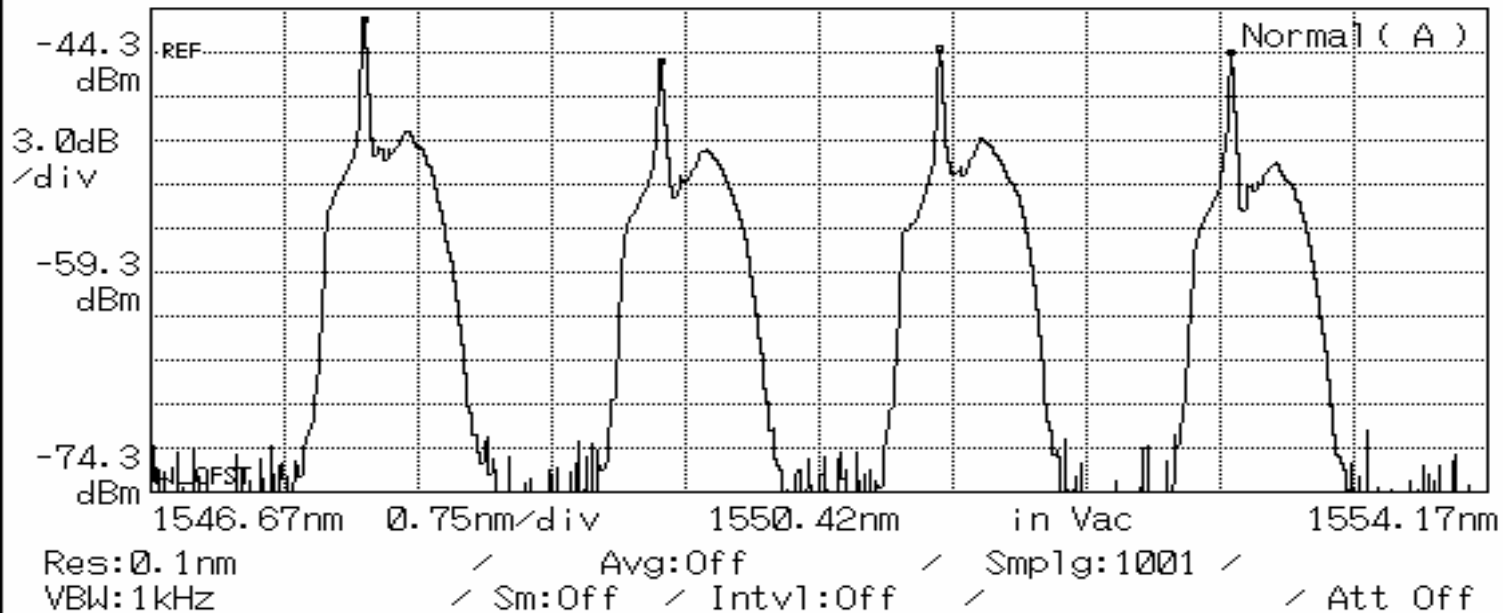


Equipo de medición/Analizador de Espectro Óptico

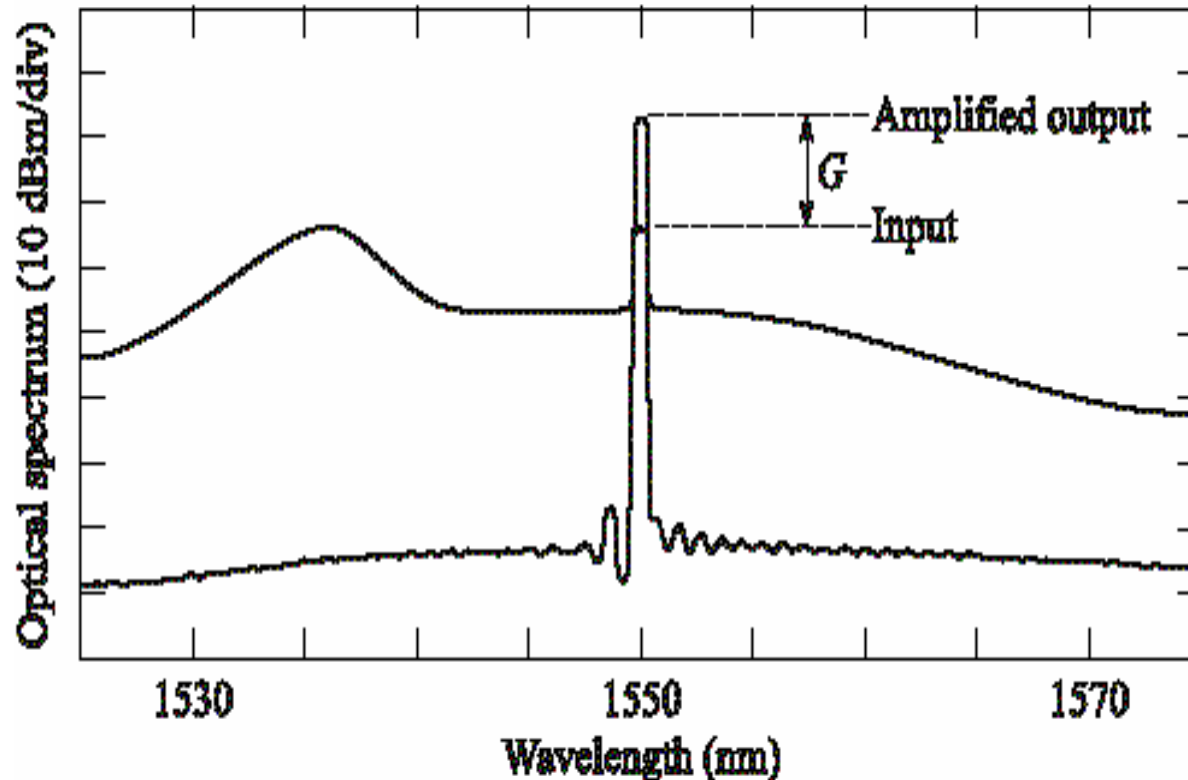


Equipo de medición/Analizador de Espectro Óptico

Anritsu 2 31-08-07 13:58
--- Multi Peak ---- S.Level..... 3dB(-44.99dBm) Peak Count..... 4
No. W1 (nm) Lvl (dBm)
1 1547.874 -41.99
2 1549.539 -44.84
3 1551.103 -44.0
4 1552.738 -44.26



Equipo de medición/Analizador de Espectro Óptico



Equipo de medición/Bit Error Rate Tester



Equipo de medición/Medidor de Potencia Óptica (Power Meter)

