

# PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN

# FIBRA ÓPTICA

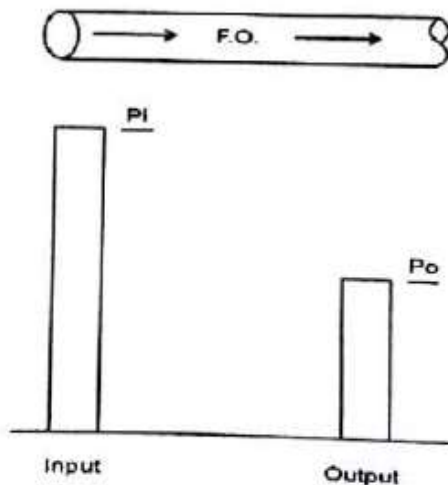
## ATENUACIÓN DE LA LUZ EN LAS FIBRAS ÓPTICAS:

- Las fibras ópticas son fabricadas en Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ). Este vidrio normalmente contiene impurezas y variaciones de composición que pueden provocar pérdidas por absorción de luz en dichas impurezas.
- En la fabricación de la fibra también se presentan pequeñas variaciones dimensionales (diferentes diámetros) que pueden causar pérdidas de luz por dispersión.
- También se presentan pérdidas en empalmes y conexiones.

# PARAMETROS DE TRANSMISIÓN

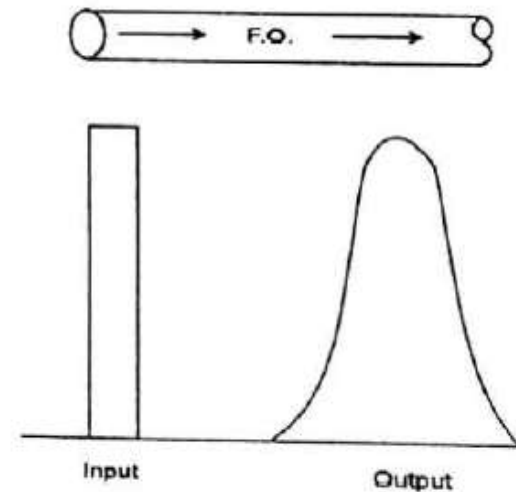
## ● Atenuación

Disminución de la potencia inyectada a lo largo del recorrido por la fibra

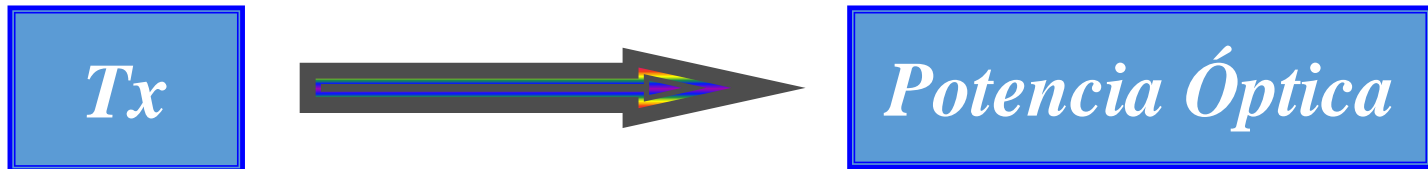


## ● Dispersión

Ensanchamiento del pulso de la señal de entrada a lo largo del recorrido por la fibra.



## *Potencia Óptica*



- *Fuente Óptica*
- *Laser*
- *Transmisor*

*Se mide en :  
Watt o dBm*

$$Potencia[dBm] = 10 \cdot \log \left( \frac{Potencia[mW]}{1mW} \right)$$

## Conversión de Unidades

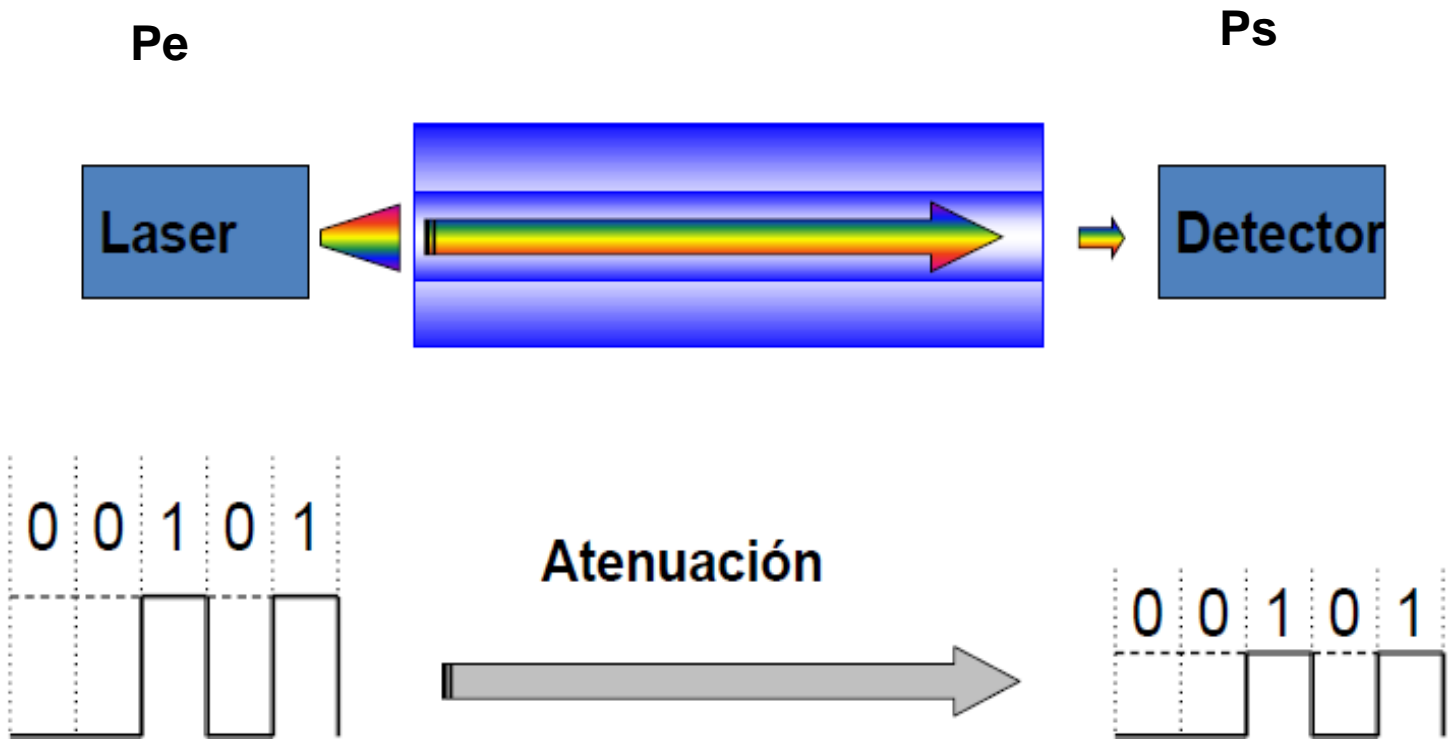
<i>dBm</i>	<i>mWatt</i>
8	6.31
7	5.01
6	3.98
5	3.16
4	2.51
3	2.00
2	1.58
1	1.26
0	1.00

<i>dBm</i>	<i>mWatt</i>
-1	0.79
-2	0.63
-3	0.50
-4	0.40
-5	0.32
-6	0.25
-7	0.20
-8	0.16
-9	0.13

<i>dBm</i>	<i>mWatt</i>
-10	0.10
-11	0.08
-12	0.06
-13	0.05
-14	0.04
-15	0.03
-16	0.03
-17	0.02
-18	0.02

# FACTORES QUE LIMITAN LA TRANSMISIÓN

## Atenuación



Curva espectral

❖ La atenuación es diferente en cada una de las ventanas de transmisión

# FIBRA ÓPTICA

- La atenuación en una fibra óptica es la sumatoria de pérdidas que se producen a través de todo el enlace.
- Normalmente la atenuación (en cables) es expresada en decibeles por kilómetro y es definida por:

$$\text{Atenuación } (\alpha) = 10 \text{ Log}_{10} \frac{P_e}{P_s} \text{ (dB)}$$

Donde:

$P_e$  : Potencia de entrada

$P_s$  : Potencia de salida

## Atenuación de Algunos Elementos

<i>Elementos</i>	<i>Atenuación</i>
Fibra Óptica ( 1310 nm )	0.35 dB / km
Fibra Óptica (1550 nm )	0.20 dB / km
Conector Óptico	0.5 dB
Conector Armado en Campo	0.7 dB
Empalme Mecánico	0.2 a 0.7 dB
Empalme por Fusión	< 0.1 dB
Splitter Óptico 1 x 2	3.7 dB
Splitter Óptico 1 x 4	7.3 dB
Splitter Óptico 1 x 8	10.5 dB
Splitter Óptico 1 x 16	13.7 dB

# Fórmula

$$\alpha \text{ (dB)} = L * a + N1 * b + N2 * c + N3 * d + N4 * e + f$$

$\alpha$  = Atenuación del enlace (dB)

- L: longitud de la fibra, a pérdida (dB/Km)
- N1: n° empalmes fusión, b: pérdida de empalme
- N2: n° conectores, c: pérdida x conector
- N3: n° empalmes mecánicos, d: pérdida x empalme
- N4: n° de splitters, e: pérdida x splitter
- F: margen de ingeniería

## Ejemplo de Atenuación de un enlace (Budget- dB)

Potencia : 1 dBm

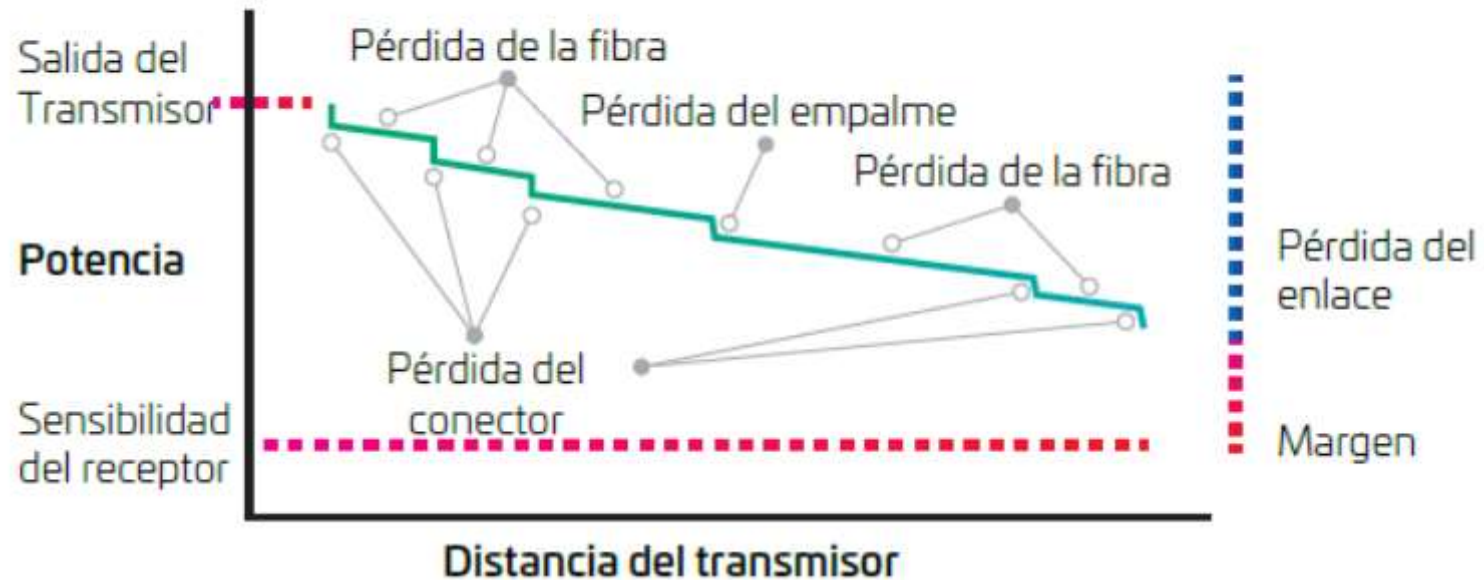
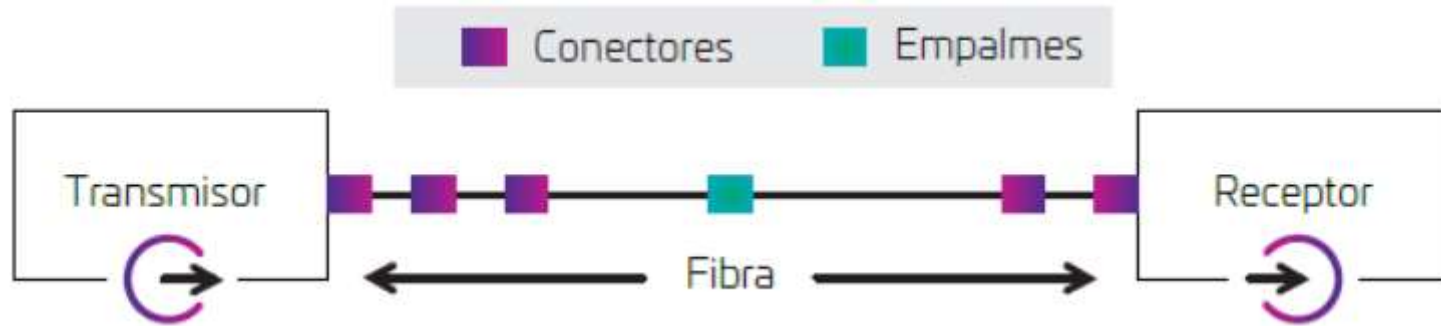
Longitud de Onda : 1550 nm

Potencia : ?



$$1 \text{ dBm} - 4 \text{ dB} - 1 \text{ dB} - 0.3 \text{ dB} = -4.3 \text{ dBm}$$

## PRESUPUESTO OPTICO



## Distribución Espectral de Fuentes Ópticas

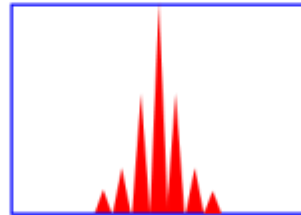
Las fuentes utilizadas para transmisores ópticos, que convierten las señales eléctricas en señales ópticas, son básicamente tecnologías: LED o LASER.

*100 nm*



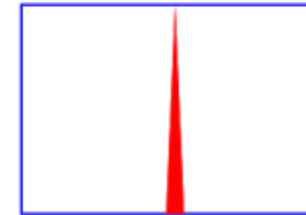
*LED*

*3 nm*



*Laser FP*

*<<1 nm*

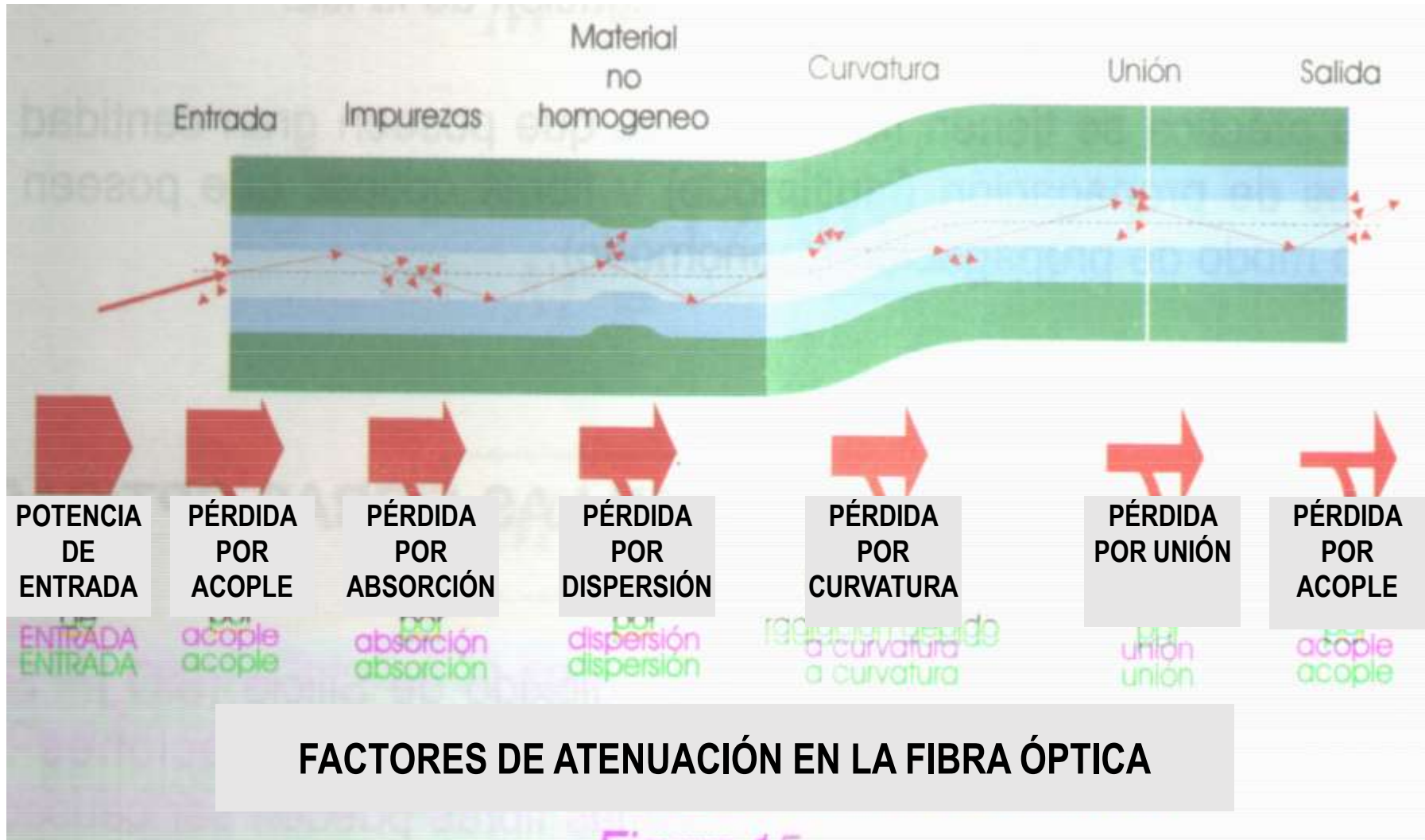


*Laser DFB*

Tipo de enlace	Fibra	Tipo de fuente	Longitud de onda (nm)	Potencia de transmisión (dBm)	Sensibilidad del receptor (dBm)	Margen del enlace (dB)
Transmisión de voz	monomodo	Láser	1310/1550	+3 a -6	-30 a -45	30 a 40
	monomodo	DWDM	1550	+20 a 0	-30 a -45	40 a 50
Transmisión de datos	multimodo	LED/ VCSEL	850	-3 a -15	-15 a -30	3 a 25
	multimodo o monomodo	Láser	1310	-0 a -20	-15 a -30	10 a 25
CATV(AM)	monomodo	Láser	1310/1550	+10 a 0	0 a -10	10 a 20

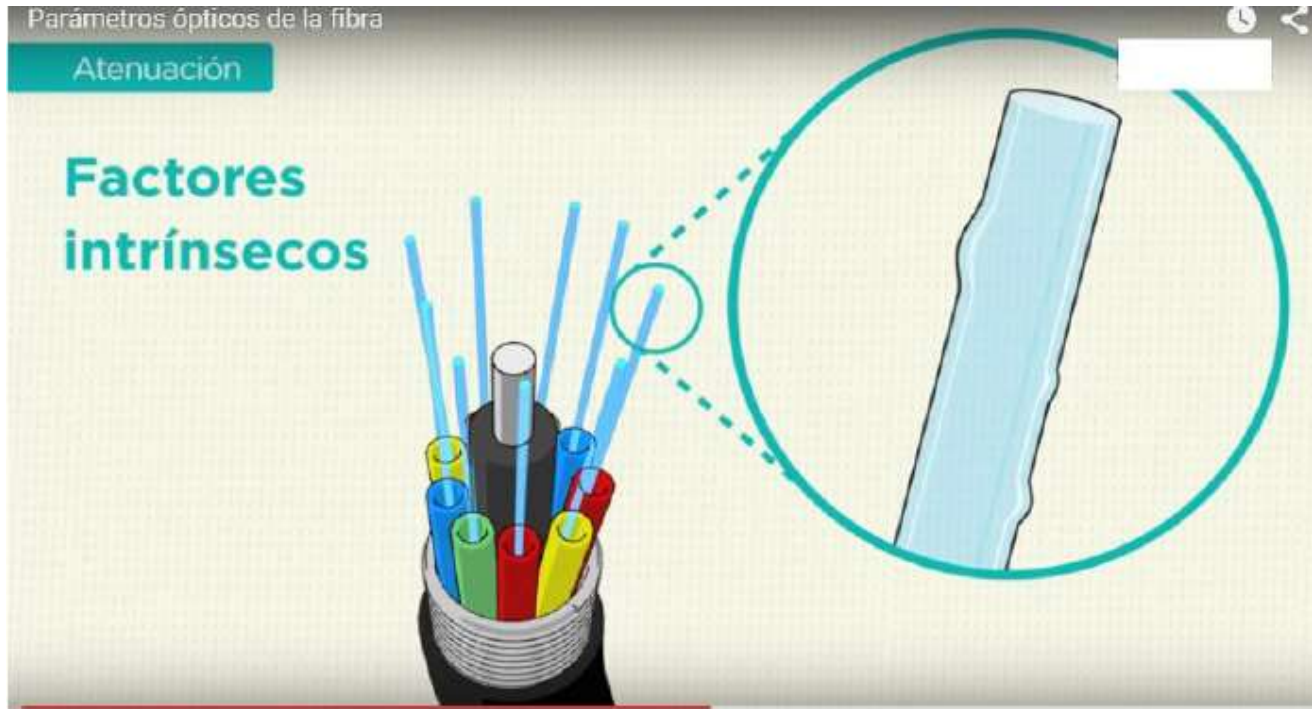
Los LED tienen una potencia disponible mucho menor que los láser y su patrón divergente y amplio de salida de la luz hace que sea más difícil que se acoplen a las fibras, por lo que se pueden utilizar sólo con fibras multimodo. Los láser tienen un patrón de salida de la luz menor y más estrecho, por lo que se pueden acoplar fácilmente a fibras monomodo, lo que los hace ideales para transmisiones de alta velocidad en larga distancia. Los LED tienen un ancho de banda menor que los láser y su uso se limita a sistemas que operan a 550 MHz o 400 Mb/s aproximadamente. Por otro lado, los láser tienen una capacidad de ancho banda muy elevada, por lo que pueden ser útiles en 40 GHz o 40 Gb/s.

# ATENUACIÓN - CAUSAS



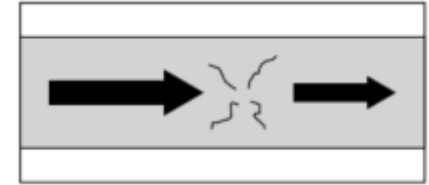
FACTORES DE ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

# Factores Intrínsecos de Atenuación



## **Por factores intrínsecos:**

Estos factores son propios de las fibras ópticas y se dan en la fabricación de éstas.

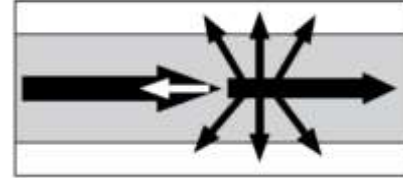


## Pérdidas por Absorción:

- Se define como la conversión de energía lumínica en calor, este fenómeno se da al interior de la fibra.
- A pesar de que la sílice fundida ( $\text{SiO}_2$ ) empleada en la construcción de las fibras ópticas es 8000 veces más pura que el vidrio común, contiene impurezas como iones de metales (Fe, Cu, Cr y Ni). Esta combinación puede causar picos de atenuación al presentar líneas de absorción en la región de la luz visible.
  - Absorción Ultravioleta (<1300 nm)
  - Absorción Infrarroja (>1300 nm)
- Absorción de iones de hidróxilo ( $\text{OH}^-$ ) cuya causa son las moléculas de agua que han sido atrapadas en el vidrio durante el proceso de fabricación.

*Síntesis: Las pérdidas por absorción se deben a impurezas y moléculas de agua que quedan en el interior de la fibra y que absorben parte de la luz transformándola en calor, atenuando por tanto la luz a medida que atraviesa la fibra óptica*

## Esparcimiento (dispersión) Rayleigh:



Variaciones microscópicas en la densidad y concentración del vidrio que conforma la fibra óptica provocan la dispersión de la luz en todas las direcciones.

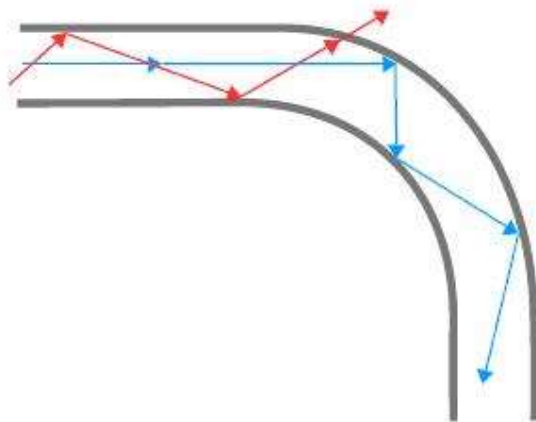
Es una magnitud que depende de la sustancia de fabricación usada, por lo tanto, puede ser modificada variando el dopado del vidrio dentro de determinados límites.

## Dispersión de guía ondas (Microcurvaturas):

Depende de parámetros ópticos y geométricos como las variaciones o irregularidades (del orden de los nm) entre núcleo y revestimiento, debido al proceso de fabricación que ocasionan que un porcentaje de potencia de luz no se refleja en el revestimiento, sino que se refracta en él, disminuyendo la cantidad de luz que llega al otro extremo.

- Este problema puede ser evitado al controlar, durante el proceso de fabricación de la fibra, los índices de refracción del núcleo y del revestimiento, así como los diámetros de los mismos.
- La experiencia ha demostrado que una variación máxima del 1% del diámetro del núcleo, ocasiona una dispersión despreciable.

## Factores Intrínsecos de Atenuación (cont.)

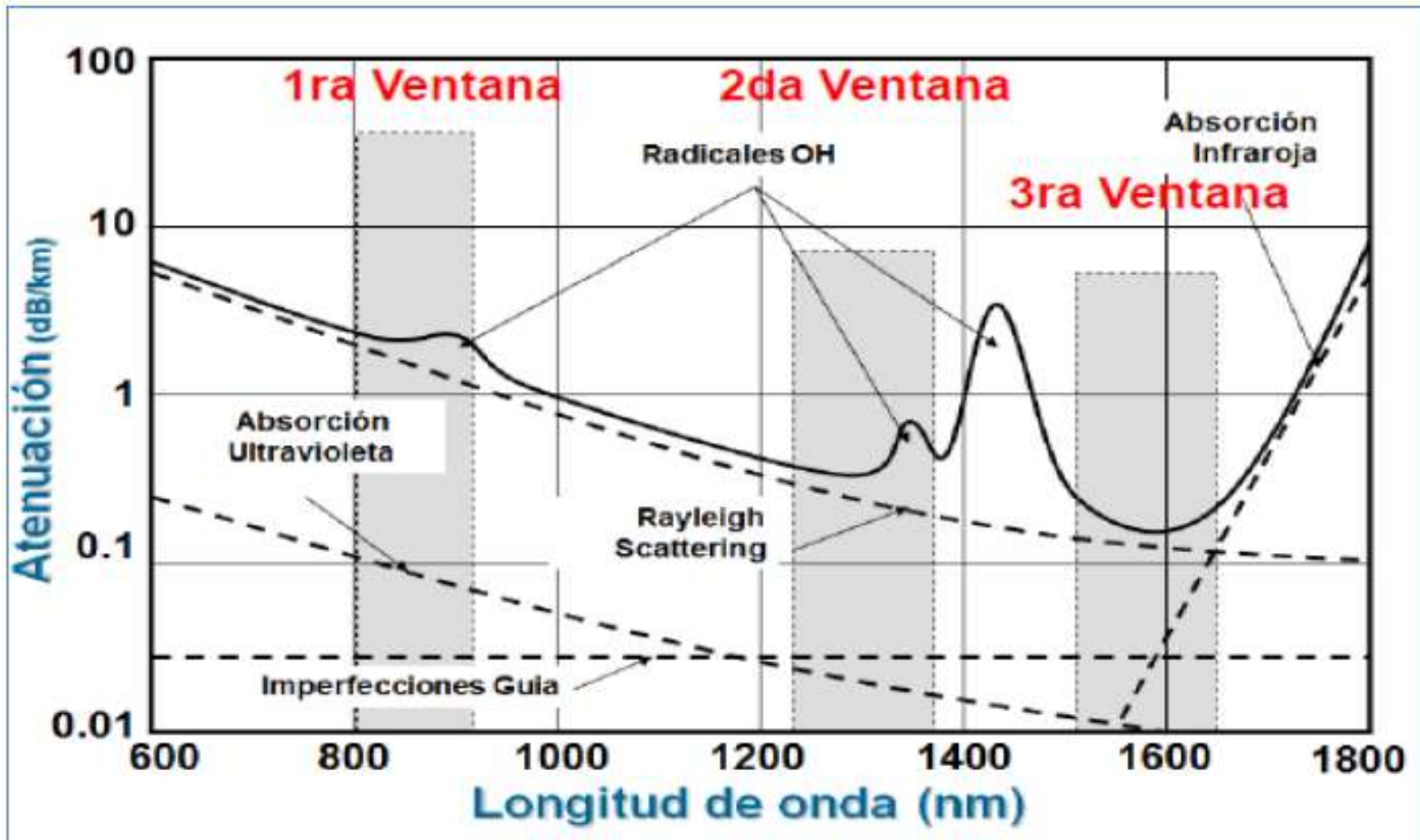


*Pérdidas por macrocurvaturas*

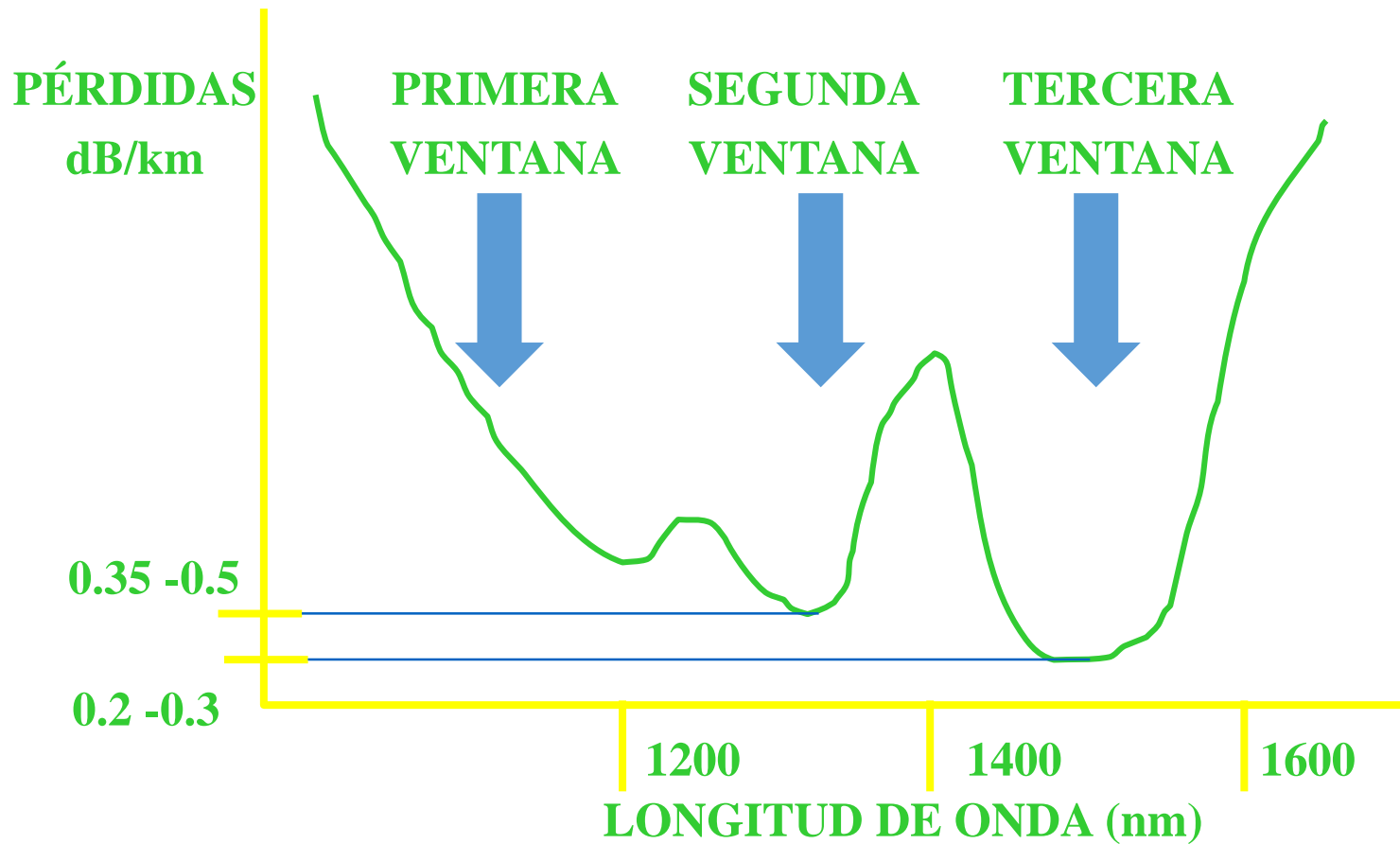


*Pérdidas por microcurvaturas*

- Las pérdidas de tipo intrínseco varían en función de la longitud de onda utilizada. Son mayores cuanto menor es la longitud de onda.
- Las pérdidas por imperfecciones de la guía (microcurvaturas producidas en el propio proceso de fabricación) son prácticamente constantes para cualquier longitud de onda.
- Juntando todos los efectos, se obtiene la gráfica mostrada a continuación:
- Se observa que hay unas zonas donde la atenuación es mínima, que corresponden a las denominadas ventanas de 1330 nm y de 1550 nm. También se observa que hay una zona sobre los 850 nm donde las pérdidas no son mínimas pero si que son constantes, lo cual es un requisito fundamental en el trabajo con fibras ópticas. Esta última ventana, denominada 1ª ventana, corresponde a una zona muy habitual de trabajo con fibras ópticas de tipo **multimodo**.

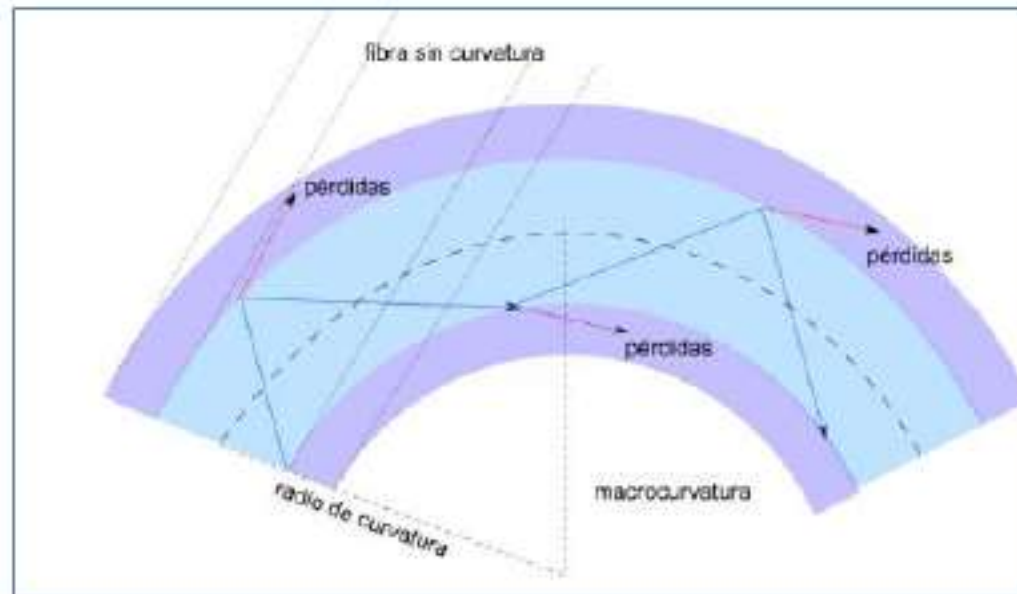
**Atenuación (dB/Km): Curva de Atenuación vs. Longitud de Onda**

# LA FIBRA: ATENUACIÓN

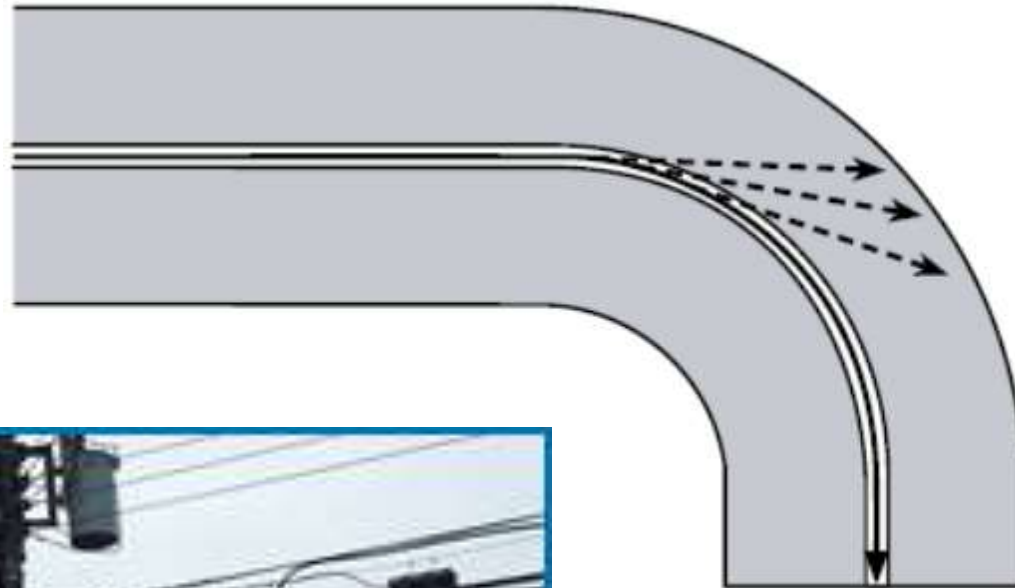


# Factores Extrínsecos de Atenuación

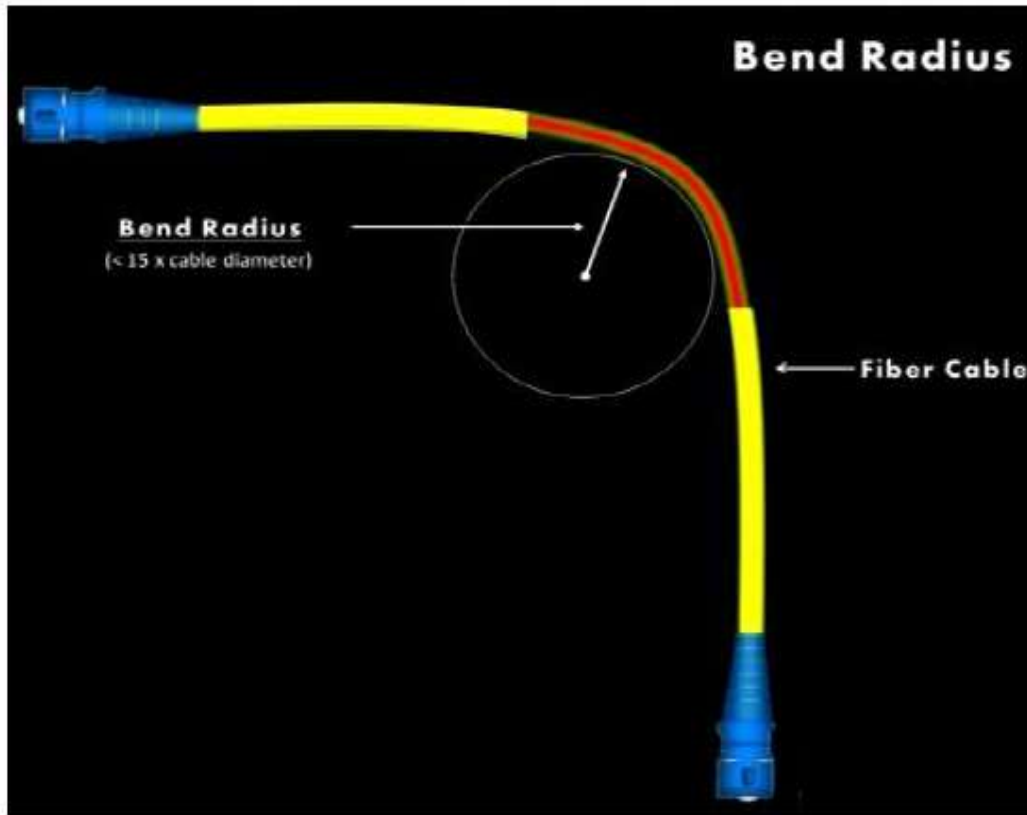
- Son factores que **originan pérdidas** que podríamos evitar operando adecuadamente la fibra.
- ✓ **Macrobending Loss (Pérdidas por Curvatura)**
- Las pérdidas por **curvatura son observadas en fibra sin cable** y **varían con la longitud de onda, el radio de curvatura** y el **número de vueltas de la fibra alrededor de algo.**



# Macrobending – Perdidas por curvaturas (cont.)



# Consideraciones sobre el radio de curvatura

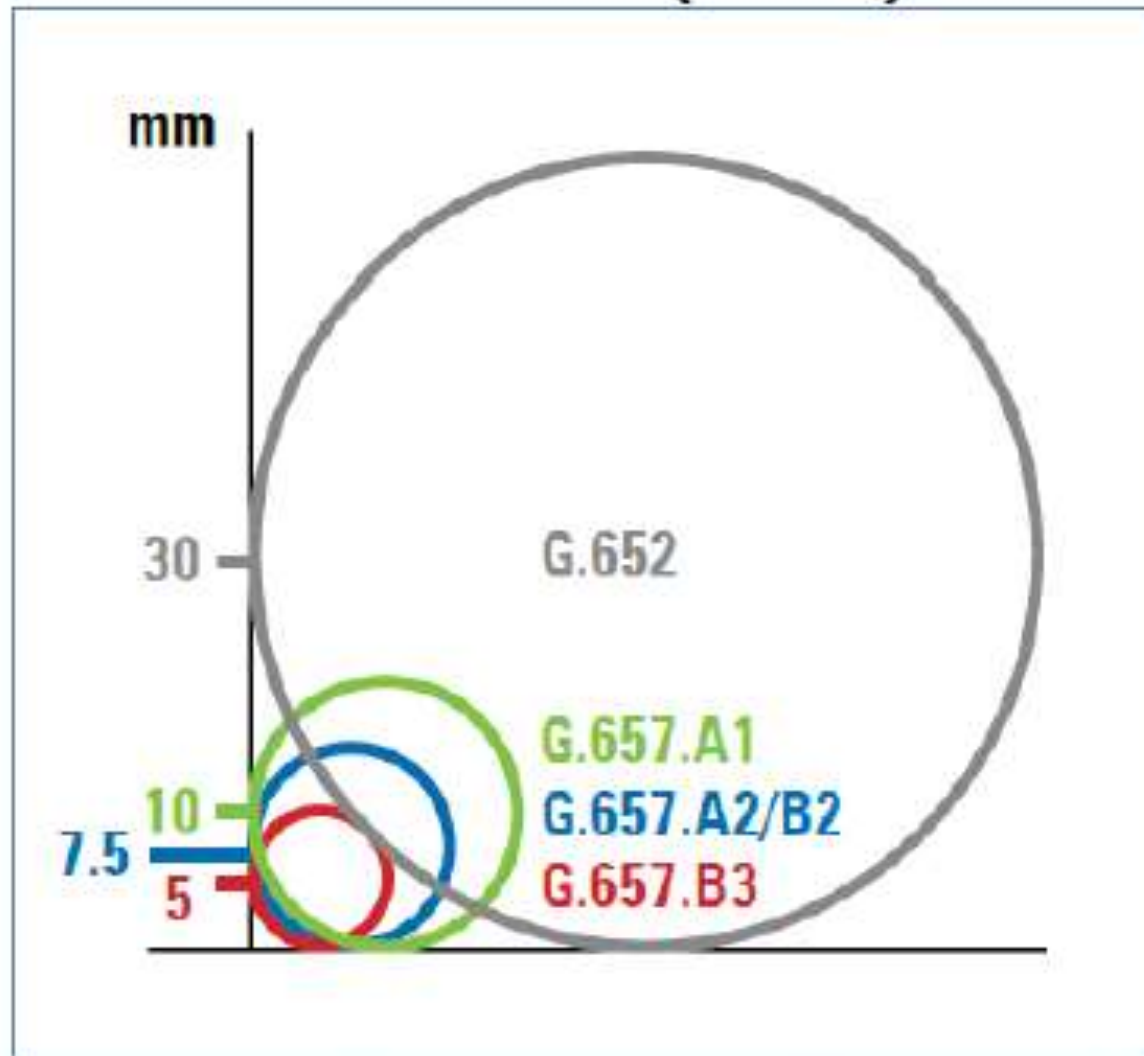


Hay que tener cuidado con respecto al radio de curvatura de los cables ópticos y *pigtails*.

En general se puede considerar un radio de curvatura mínimo 15 veces el valor del diámetro del cable óptico.

RADIOS DE CURVATURA MÍNIMOS ADMISIBLES	
TRANSITORIO	10 D
<i>DURANTE LA INSTALACIÓN / MÁXIMA CARGA DE TRACCIÓN</i>	
PERMANENTE	15 D
<i>DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN / CARGA <math>&lt; 30\%</math> MÁX. CARGA TRACCIÓN</i>	

## **RADIOS MÍNIMOS DE CURVATURA (Fibras)**



**Radios mínimos de curvatura indicados para fibras**

**ITU-T G.652 e ITU-T G.657**

## **ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:**

### **PÉRDIDAS POR UNIONES:**

Pueden ser por factores intrínsecos y factores extrínsecos.

#### **Por factores intrínsecos:**

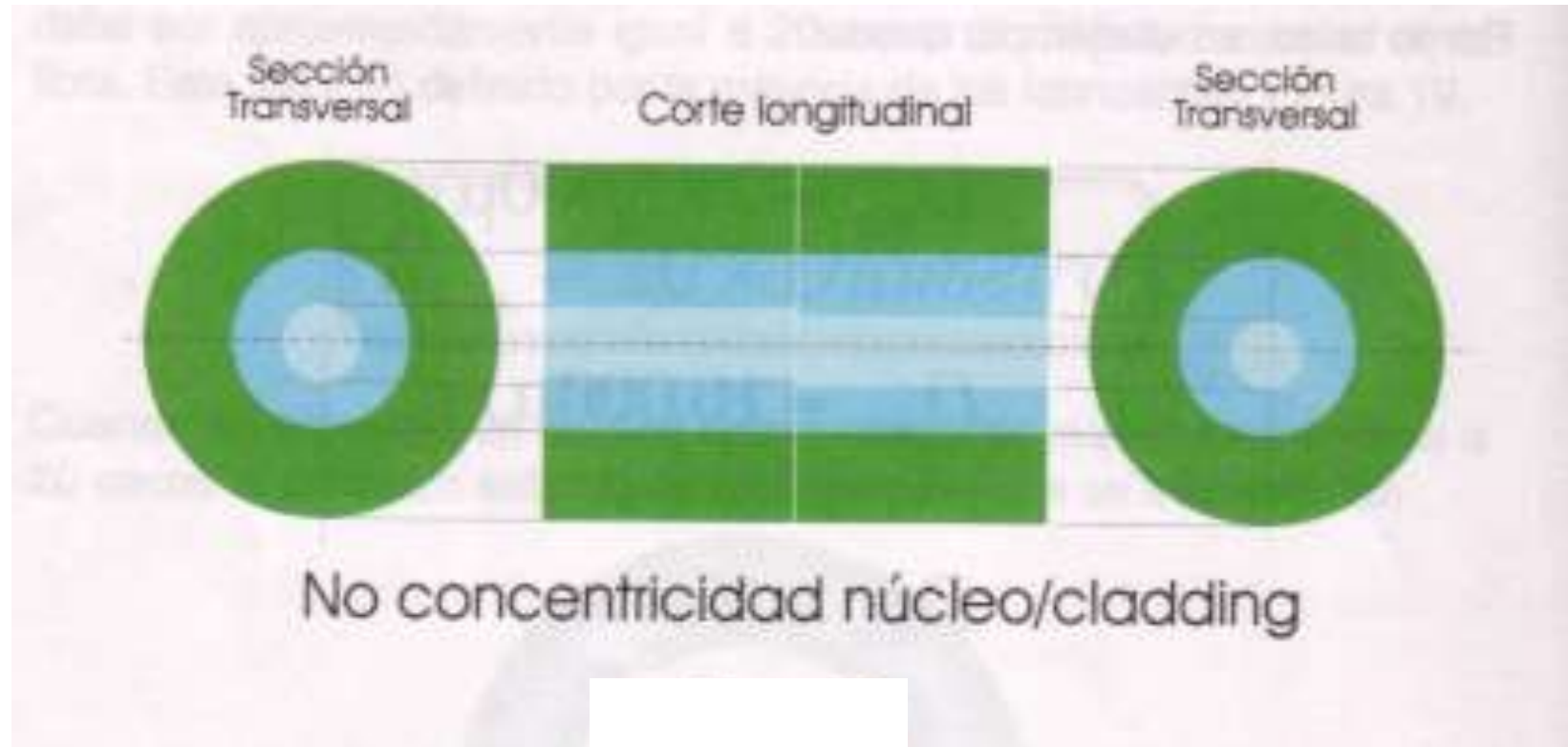
Cuando se unen fibras ópticas con diferentes parámetros ópticos o geométricos se presentan pérdidas en la transmisión de la luz.

#### **Por factores extrínsecos:**

Cuando se efectúan uniones ópticas deficientes se presentan pérdidas en la transmisión de la luz.

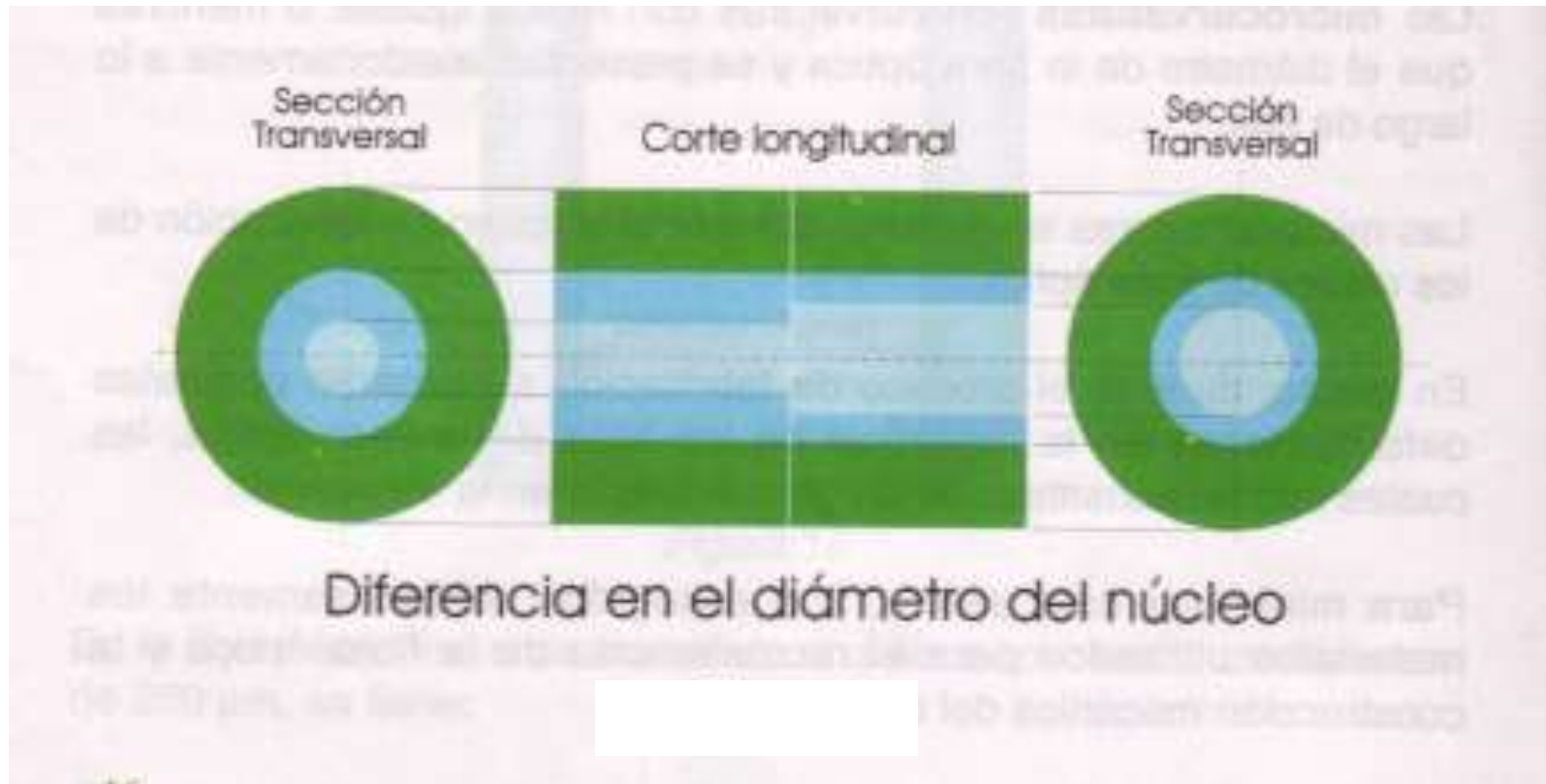
# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores intrínsecos:



# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores intrínsecos:

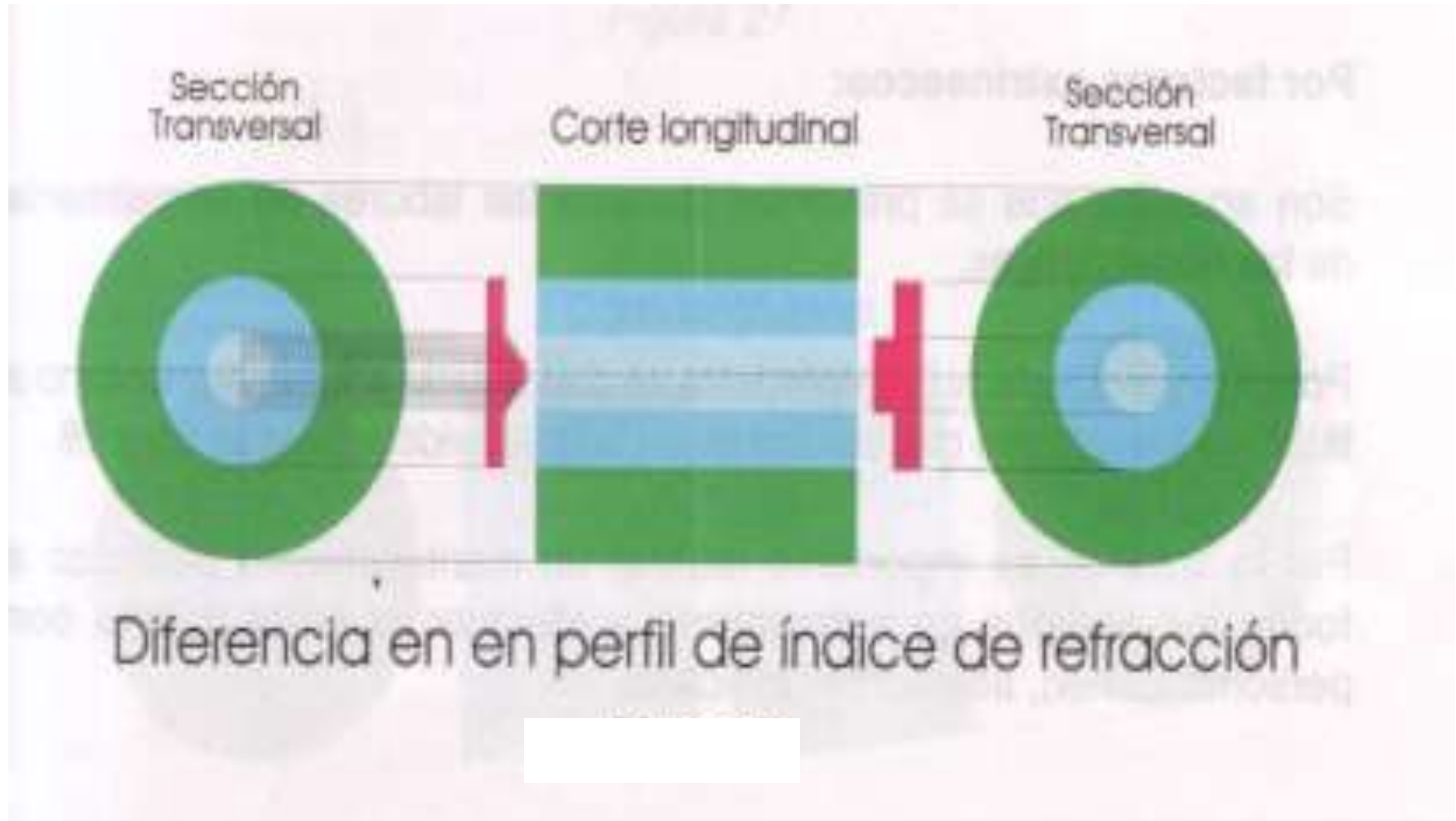


# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES: Por factores intrínsecos:



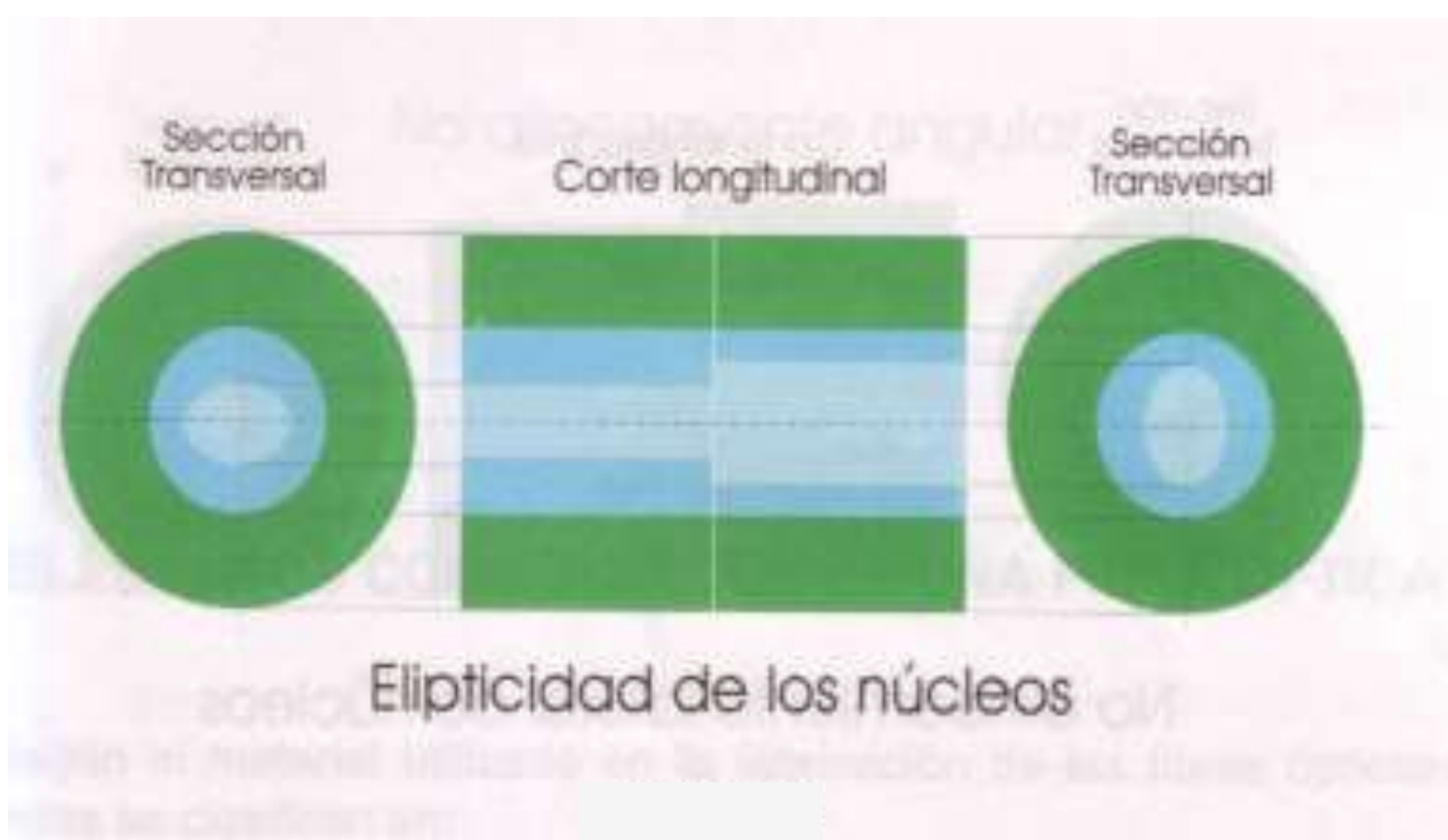
# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores intrínsecos:



# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores intrínsecos:



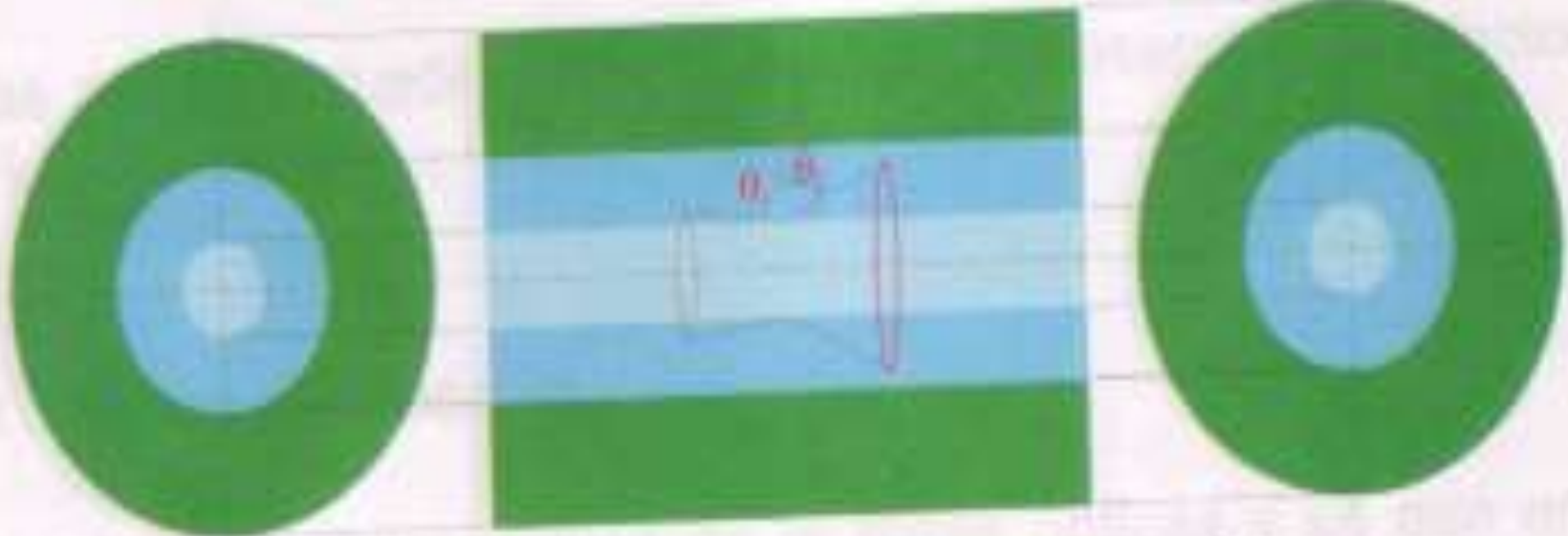
# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores intrínsecos:

Sección Transversal

Corte longitudinal

Sección Transversal



Diferencia en la apertura numérica

## ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

### Por factores extrínsecos:

Son los que se presentan durante las labores de empalmería de las fibras ópticas.

Por lo general se deben a fallas humanas o a fallas en los equipos usados. Por eso es importante realizar un mantenimiento periódico a todos los equipos de empalmería y desarrollar las labores de empalmes con personal idóneo, altamente calificado.

# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

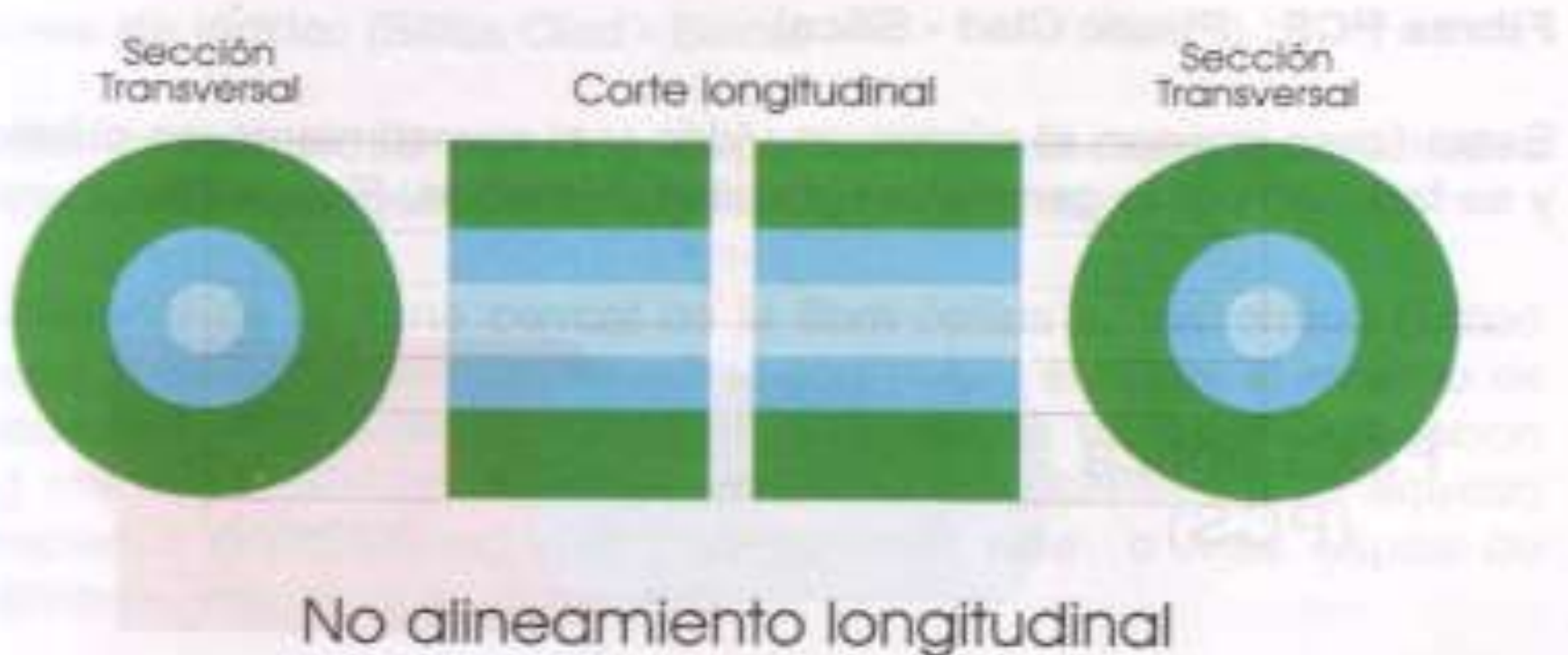
Por factores extrínsecos:



No alineamiento lateral de núcleos

# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores extrínsecos:

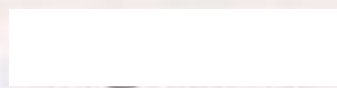


# ATENUACIÓN - PÉRDIDAS POR UNIONES:

Por factores extrínsecos:

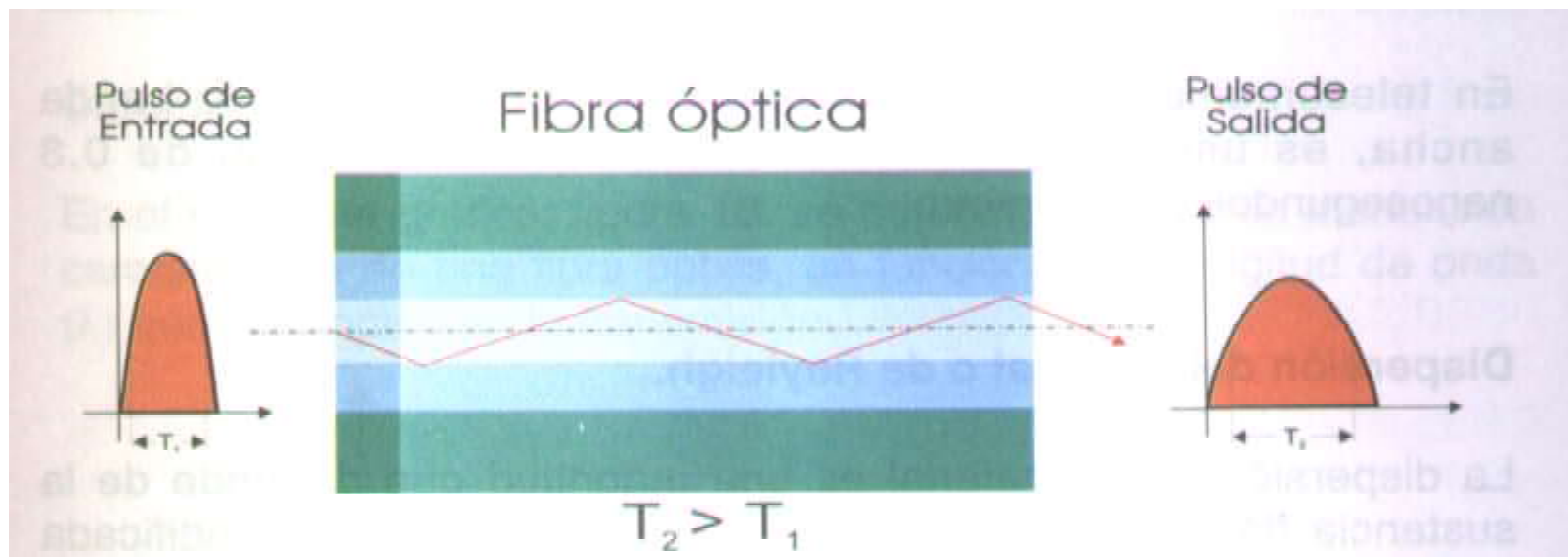


No alineamiento angular



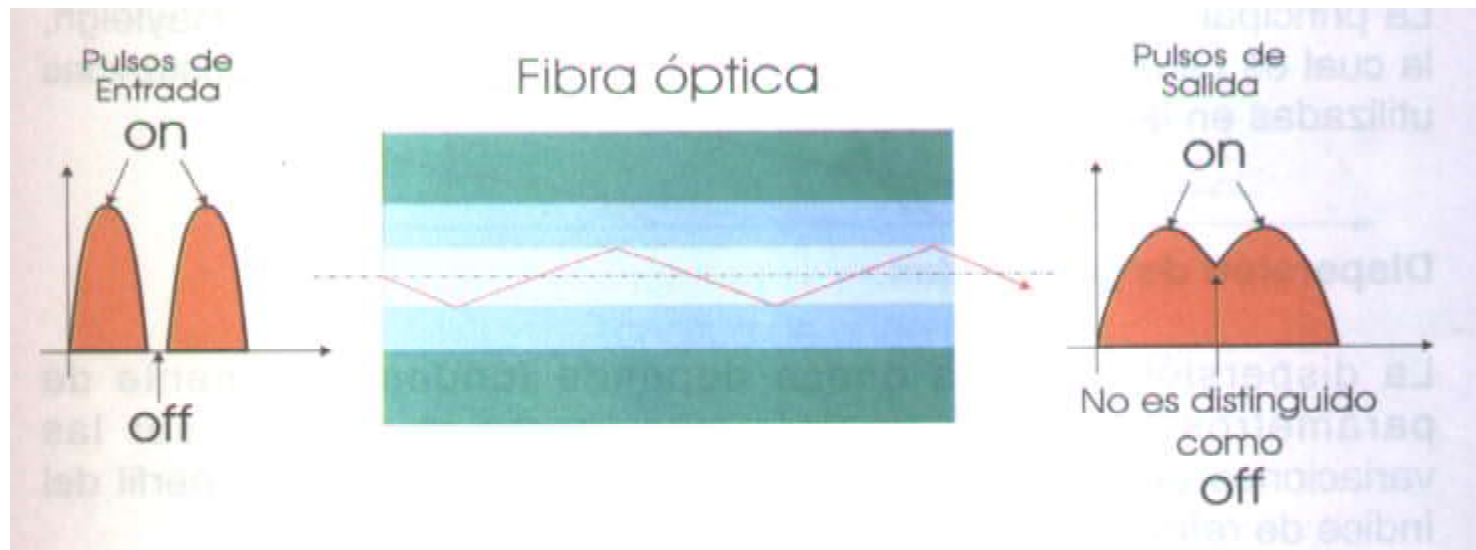
# Pérdidas por Dispersión:

Puede decirse que la dispersión es el esparcimiento de un pulso de luz que viaja a través de una fibra óptica, este esparcimiento ocasiona diferencias de tiempos entre la entrada y la salida del pulso ( $T_2 > T_1$ ).



# Pérdidas por Dispersión:

Debido al esparcimiento de los pulsos, estos tienden a traslaparse haciéndose en muchas ocasiones irreconocibles por el receptor.



*Es una limitante en Velocidad de transmisión o distancia entre equipos*

# Pérdidas por Dispersión:

## Dispersión Modal

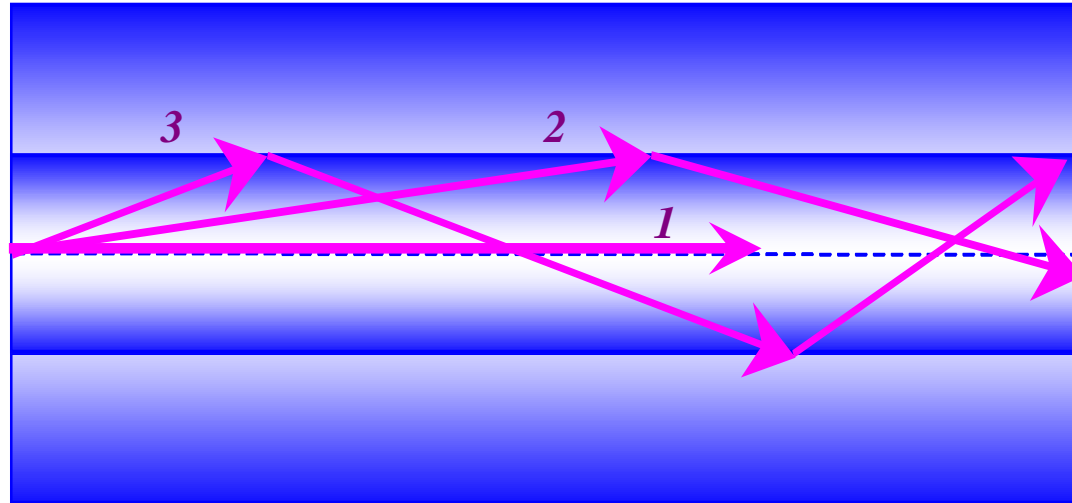
- Es el ensanchamiento de los pulsos de entrada a lo largo de su recorrido por la fibra.
- Está asociada a la cantidad de modos, los cuales al tener distintos recorridos tienen distintos tiempos de propagación.
- Limita la distancia a la que es posible transmitir una señal sin tener que regenerarla eléctricamente. Esta distancia es menor según aumenta la velocidad de la señal.
- ✓ Cada tipo de fibra óptica tiene unas características de dispersión diferentes.

## *Tipos de Dispersión*

- *Dispersión Modal ( FO Multimodo )*
- *Dispersión Cromática ( FO Monomodo )*
- *Dispersión de Modos Polarizados  
( FO Monomodo )*

## *Dispersión Modal ( FO Multimodo )*

### *- Modos de Propagación*



$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3$$

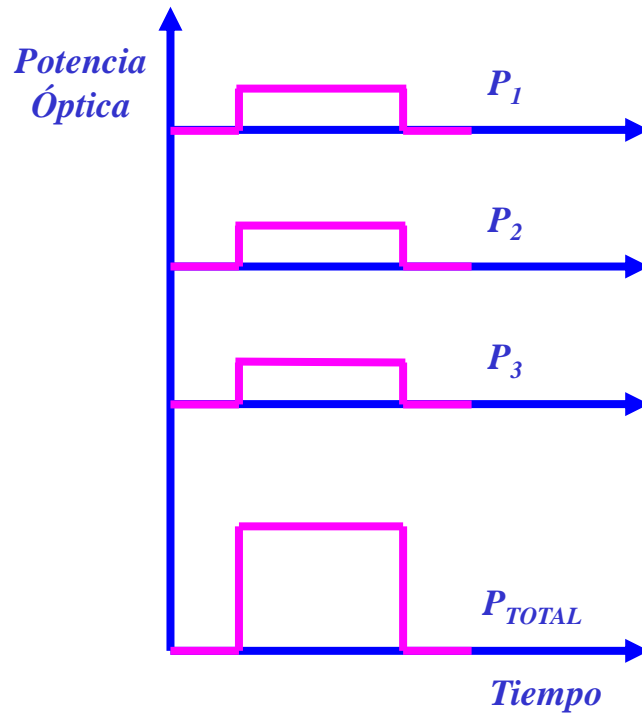
*La Dispersión Modal es el ensanchamiento de los pulsos de entrada a lo largo de su recorrido por la fibra.*

*Está asociada a la cantidad de modos*

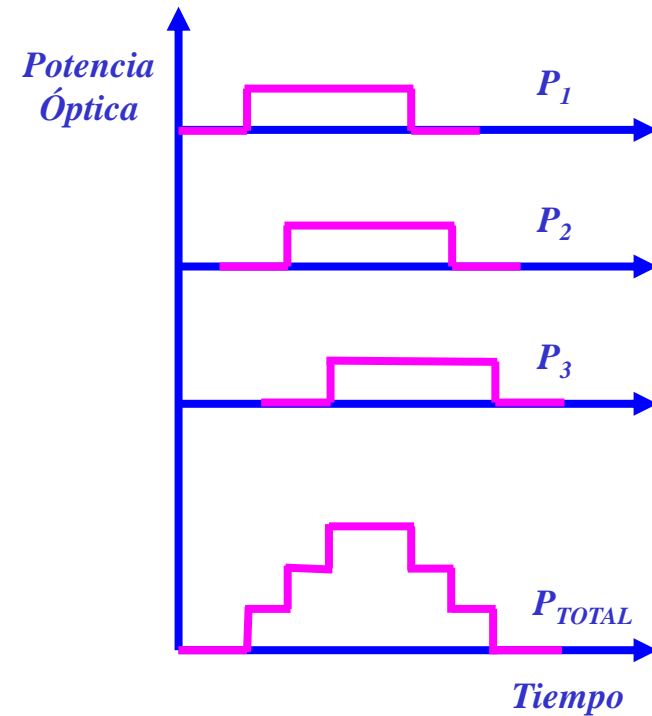
## *Dispersión Modal*

### **Fibra Multimodo**

#### *Potencia Inicial*



#### *Potencia Final*

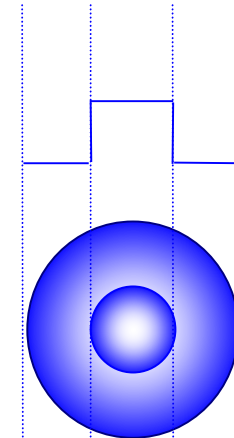
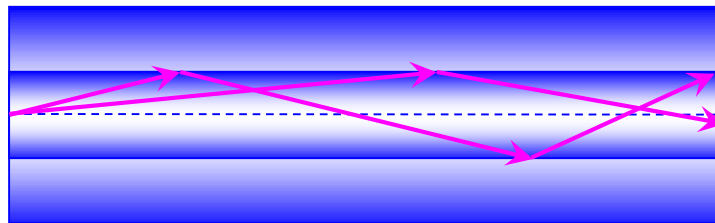


## *Dispersión Modal - Reducción*

Para obtener una fibra óptica multimodo con menor dispersión modal hay que reducir la cantidad de modos que puedan propagarse en el núcleo.

- Reduciendo el diámetro del núcleo (situación que se presenta en las fibras “monomodo”)
- Modificando los Perfiles de los índices de refracción entre el núcleo y el recubrimiento de la fibra:
  - Fibra Multimodo – Índice Escalón
  - Fibra Multimodo – Índice Gradual

## *Multimodo - Índice Escalón*

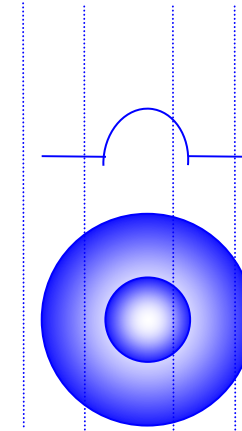
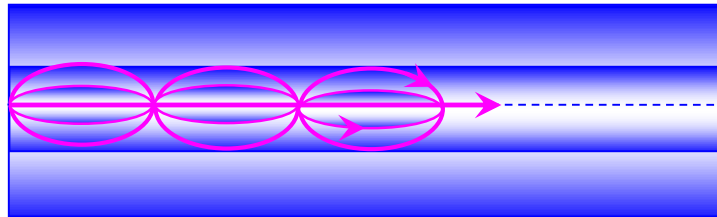


*Se propagan aproximadamente 4000 modos*

*Dispersión Modal  $\Rightarrow$  20 ns/km*

*Es una limitante en Velocidad de transmisión o distancia entre equipos*

## *Multimodo - Índice Gradual*

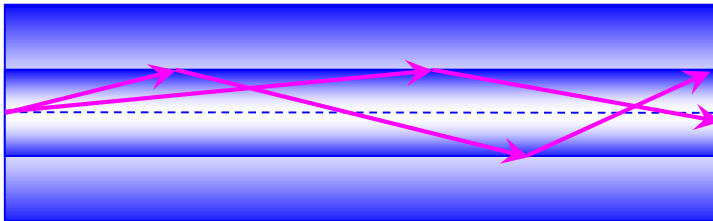


*Se propagan aproximadamente 250 modos*

*La Dispersión Modal disminuye de 20 ns/km a 0,20 ns/km*

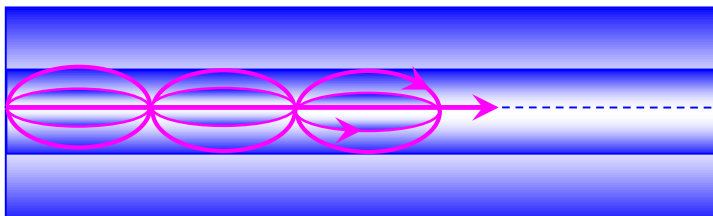
## *Dispersión Modal*

*Multimodo - Índice Escalón*



*Mayor Dispersión  
Modal*

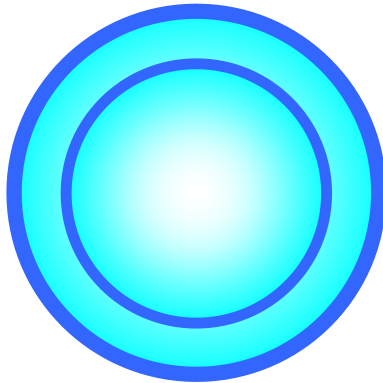
*Multimodo - Índice Gradual*



*Menor Dispersión  
Modal*

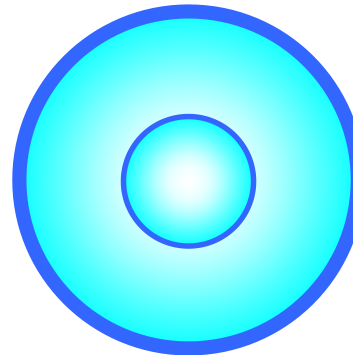
## *Fibras Multimodo y Monomodo*

*Multimodo Escalón*



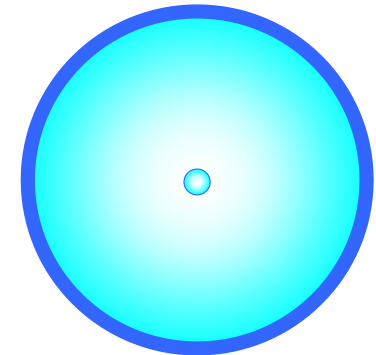
*Diámetro del Núcleo : 100  $\mu\text{m}$   
Ángulo de Aceptación : 14°  
Número de Modos  $\cong$  4000*

*Multimodo Gradual*

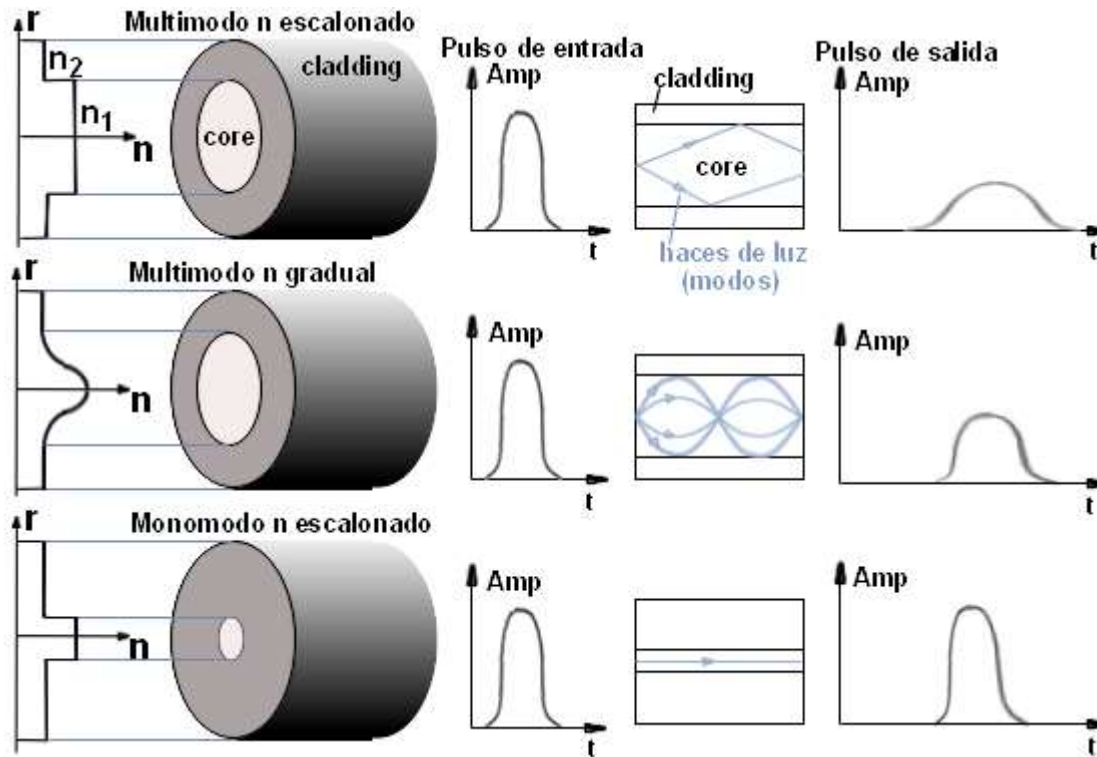


*Diámetro del Núcleo : 50  $\mu\text{m}$   
Ángulo de Aceptación : 11.9°  
Número de Modos  $\cong$  250*

*Monomodo Escalón*



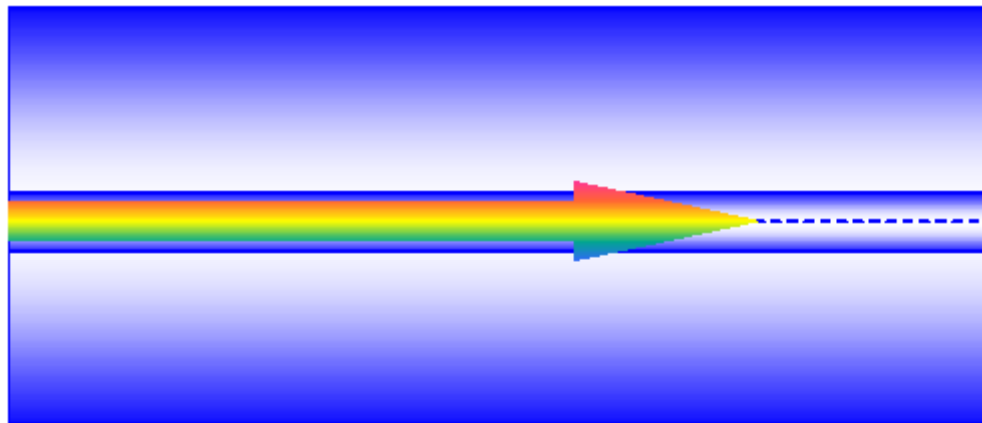
*Diámetro del Núcleo : 10  $\mu\text{m}$   
Ángulo de Aceptación : 6.5°  
Número de Modos  $\cong$  1*



# Pérdidas por Dispersión:

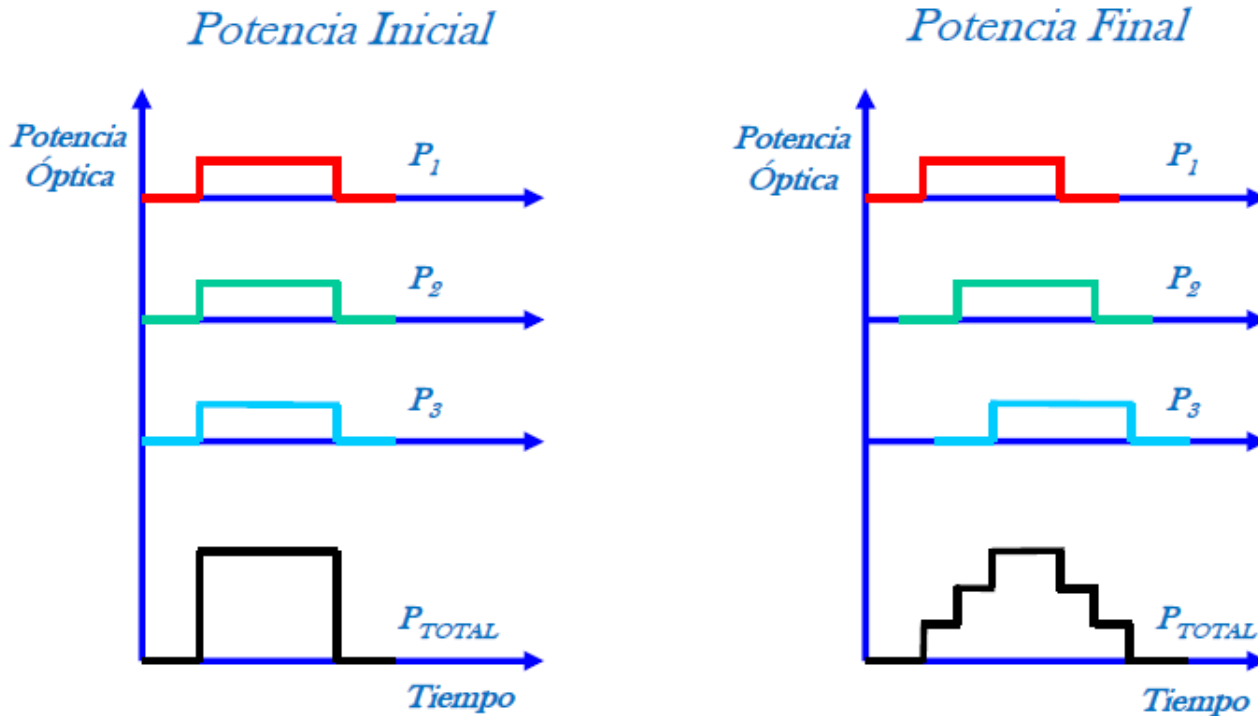
## Dispersión Cromática (Fibra Monomodo):

- En las fibras monomodo, al haber solo un “modo” o rayo de luz, no se produce dispersión modal, pero si que se produce la denominada dispersión cromática, que es debida a la diferente velocidad por la fibra de las diferentes longitudes de onda de la luz transmitida. Aun utilizando una fuente de luz muy pura, como es la luz láser, siempre existen varias longitudes de onda y por lo tanto siempre se producirá un poco de dispersión cromática.



$$P_{total} = P_{Azul} + P_{Verde} + P_{Rojo}$$

# Dispersión Cromática (Cont.)



La unidad de medida para la dispersión cromática es del ps/(nm-km), indica: Cuantos picosegundos (ps) se ensancha un pulso de una longitud de onda espectral determinada (nm) por cada kilómetro recorrido.

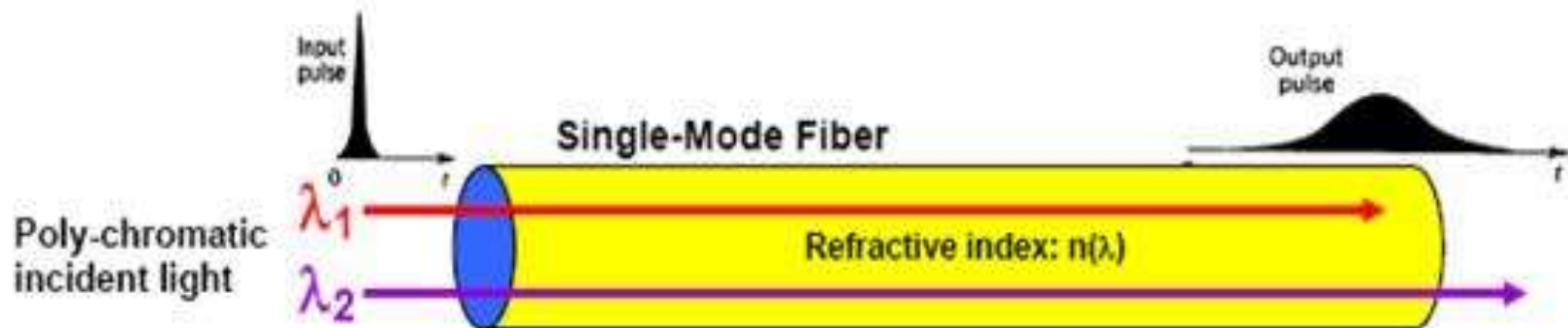
Por ejemplo, para calcular la dispersión de un pulso de 20-ps (0.02 nm) de una longitud de onda de 1550 nm cuando viaja hasta 10-km.

(dispersión a 1550nm: 17 ps/nm-km), se calculara un retardo:

$$(17 \text{ ps/nm-km}) \times (0.02 \text{ nm}) \times (10 \text{ km}) = 3.4 \text{ ps}$$

## Dispersión Cromática (Cont.)

- Es el ensanchamiento de los pulsos de entrada a lo largo de su recorrido por la fibra.
- Está asociada al ancho de banda espectral de la fuente. (Led – Láser). La luz emitida por los transmisores no es una línea espectral pura, sino que está compuesta de diferentes longitudes de onda, y cada una de ellas se propaga a una velocidad diferente.
- Limita la distancia a la que es posible transmitir una señal sin tener que regenerarla eléctricamente. Esta distancia es menor según aumenta la velocidad de la señal.
- La dispersión cromática se mide en ps/nm x km y este valor interesa que sea lo más pequeño posible. (parámetro de la fibra indicada x el fabricante)



Dispersión cromática en las fibras ópticas monomodo

## Fibra monomodo estándar (ITU G652)

Es la más usada en telecomunicaciones.

Se eliminó la **Dispersión Modal** al disminuir el radio del núcleo (de 50  $\mu\text{m}$  a 9  $\mu\text{m}$ ) de manera que la luz se propague a través de un solo “Modo”.

Pero no se eliminó la **Dispersión Cromática**.

Apta para transmitir en segunda y tercera ventana.

### Segunda ventana (1310 nm)

- Atenuación : 0.5 dB/km
- Dispersión : 3.5 ps/nm.km

### Tercera ventana (1550 nm)

- Atenuación : 0.25 dB/km
- Dispersión : 18 ps/nm.km

¿Cómo podemos conseguir una fibra con la menor atenuación y la menor dispersión? => fibra de dispersión desplazada (ITU G653)

	Atenuación (2da ventana) dB/km	Atenuación (3ra ventana) dB/km	Dispersión cromática 2da ventana ps/nm.km	Dispersión cromática 3ra ventana ps/nm.km
<b>Fibra dispersión estándar</b>	<b>0.40</b>	<b>0.25</b>	<b>3.5</b>	<b>18</b>
<b>Fibra dispersión desplazada</b>	<b>0.50</b>	<b>0.25</b>	<b>-</b>	<b>.5</b>

### *Monomodo Dispersión Estándar (ITU G652)*

	<i>Mínima Atenuación</i>	<i>Mínima Dispersión</i>
<i>1310 nm</i>		
<i>1550 nm</i>		

### *Monomodo Dispersión Desplazada (ITU G653)*

	<i>Mínima Atenuación</i>	<i>Mínima Dispersión</i>
<i>1310 nm</i>		
<i>1550 nm</i>		

La unidad de medida para la dispersión cromática es del ps/(nm-km), indica:  
Cuántos picosegundos (ps) se ensancha un pulso de una longitud de onda espectral determinada (nm) por cada kilómetro recorrido.

Por ejemplo, para calcular la dispersión de un pulso de 20-ps (0.02 nm) de una longitud de onda de 1550 nm cuando viaja hasta 10-km.

(dispersión a 1550nm: 17 ps/nm-km), se calculara un retardo:

$(17 \text{ ps/nm-km}) \times (0.02\text{nm}) \times (10 \text{ km}) = 3.4 \text{ ps}$

Long de Onda : 1550 nm  
Ancho Espectral : 1 nm  
Velocidad de Trans. : 2.5 Gb/s



$$\Delta (Ps) = Disp \left( \frac{Ps}{nm \times km} \right) \times \text{Ancho espectral ( nm )} \times \text{Distancia ( km )}$$

$$\Delta (Ps) = 18 \frac{Ps}{nm \times km} \times 1 \text{ nm} \times 60 \text{ km} = 1080 \text{ Ps}$$

$$\text{Ancho Temporal de 1 Bit} = \frac{1}{2.5 \times 10^9} \text{ s} = 0.4 \times 10^{-9} \text{ s} = 400 \text{ Ps}$$

Long de Onda : 1310 nm  
Ancho Espectral : 1 nm  
Velocidad de Trans. : 2.5 Gb/s



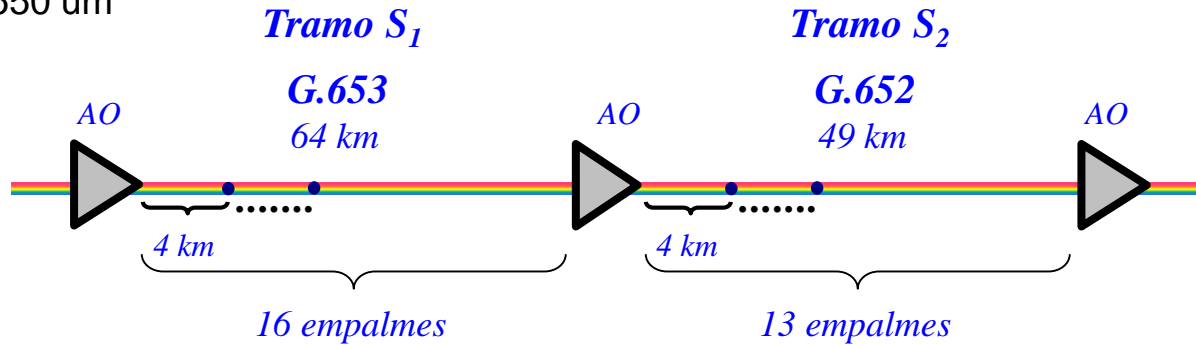
$$\Delta (Ps) = Disp \left( \frac{Ps}{nm \times km} \right) \times \text{Ancho espectral ( nm )} \times \text{Distancia ( km )}$$

$$\Delta (Ps) = 0.5 \frac{Ps}{nm \times km} \times 1 \text{ nm} \times 60 \text{ km} = 30 \text{ Ps}$$

$$\text{Ancho Temporal de 1 Bit} = \frac{1}{2.5 \times 10^9} \text{ s} = 0.4 \times 10^{-9} \text{ s} = 400 \text{ Ps}$$

*Atenuación y Dispersión Cromática del Enlace de FO*

Long. de onda: 1550 um



	G.653	G.652
Atenuación	0.22 dB/km	0.22 dB/km
Disp. Cromática	1 ps/nm.km	18 ps/nm.km

$At(dB)_{s_1} = 17.3dB$   
 $At(dB)_{s_2} = 13.4dB$   
 $D_T\left(\frac{Ps}{nm}\right) = 946 \frac{Ps}{nm}$

# Fibra óptica dispersión desplazada

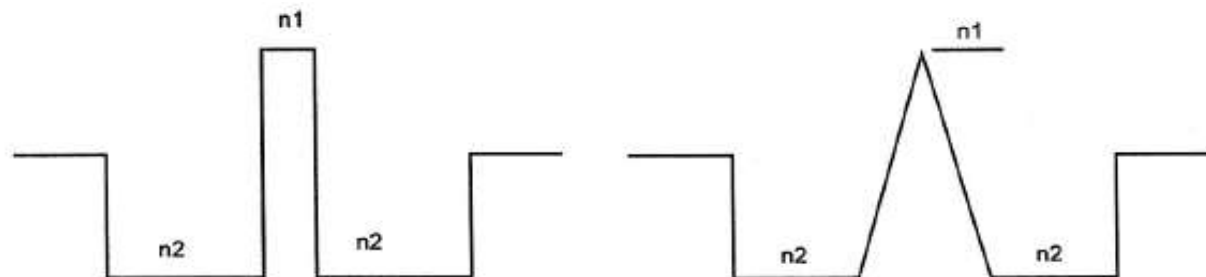
Como logramos una fibra con la menor atenuación y la menor dispersión ?

La ubicación de las ventanas no es modificable  
=> se debe correr la curva de dispersión

La dispersión crómica ( material + guía de ondas)

⇒ se puede modificar la componente de la dispersión debida a la guía de ondas, modificando el perfil del índice de refracción

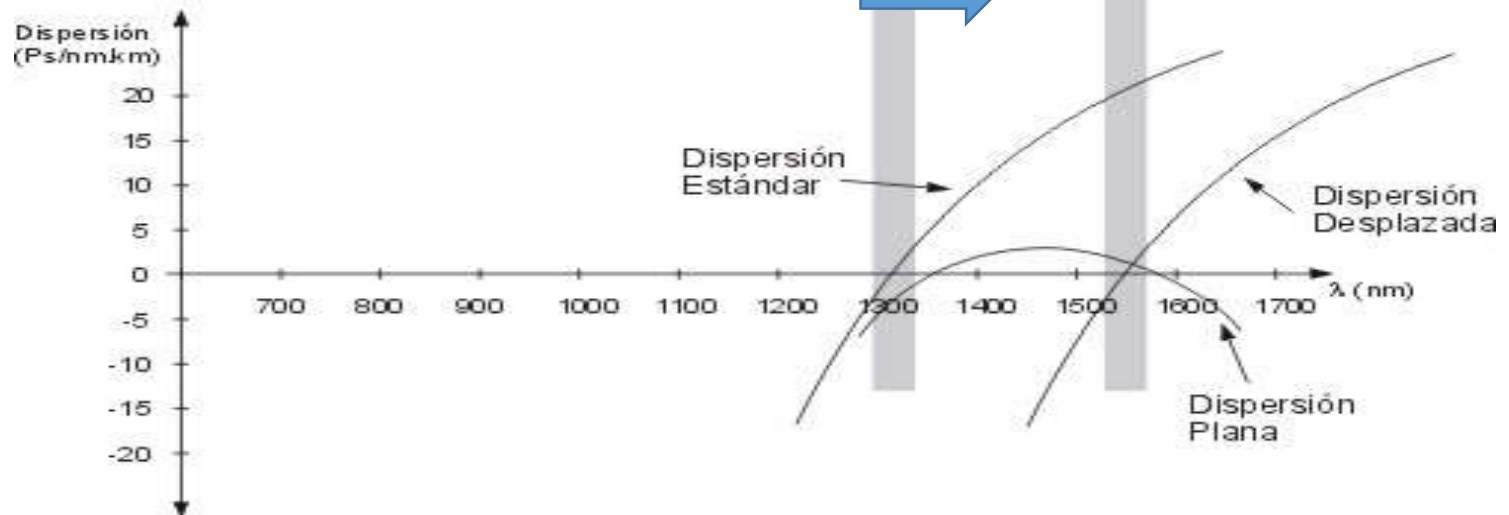
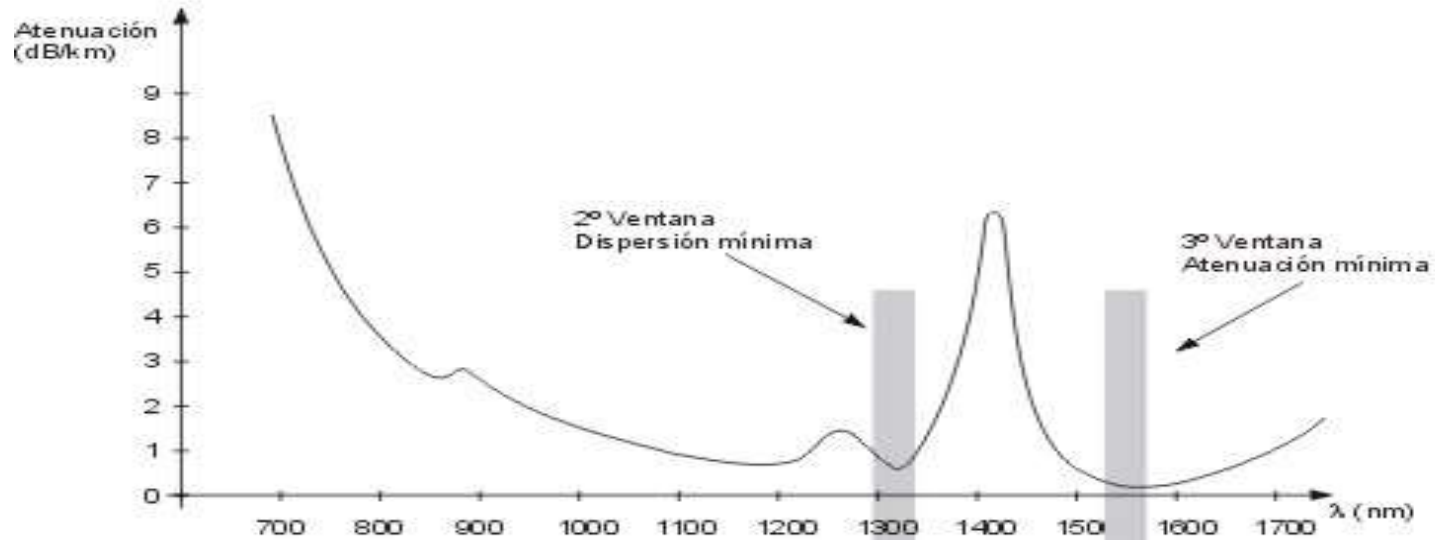
⇒ **Cambiando el perfil de índice de refracción, logramos mover la curva de dispersión debida a la guía de ondas.**



DISPERSIÓN ESTÁNDAR

DISPERSIÓN DESPLAZADA

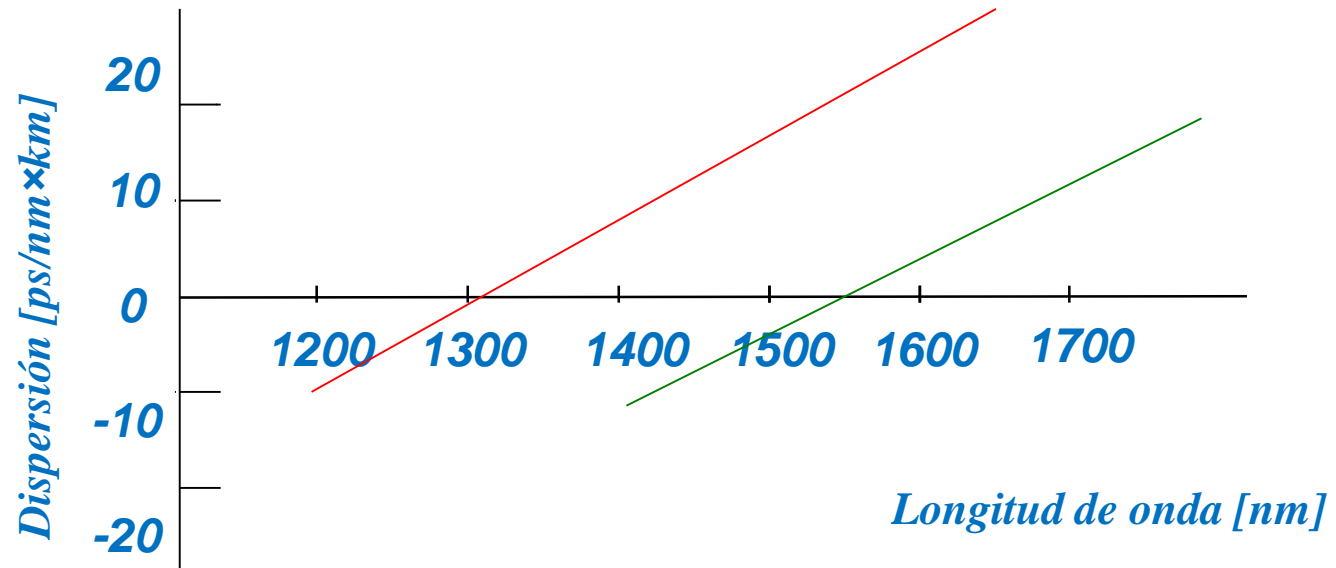
# ATENUACIÓN vs. DISPERSIÓN CROMÁTICA



# Dispersión Cromática

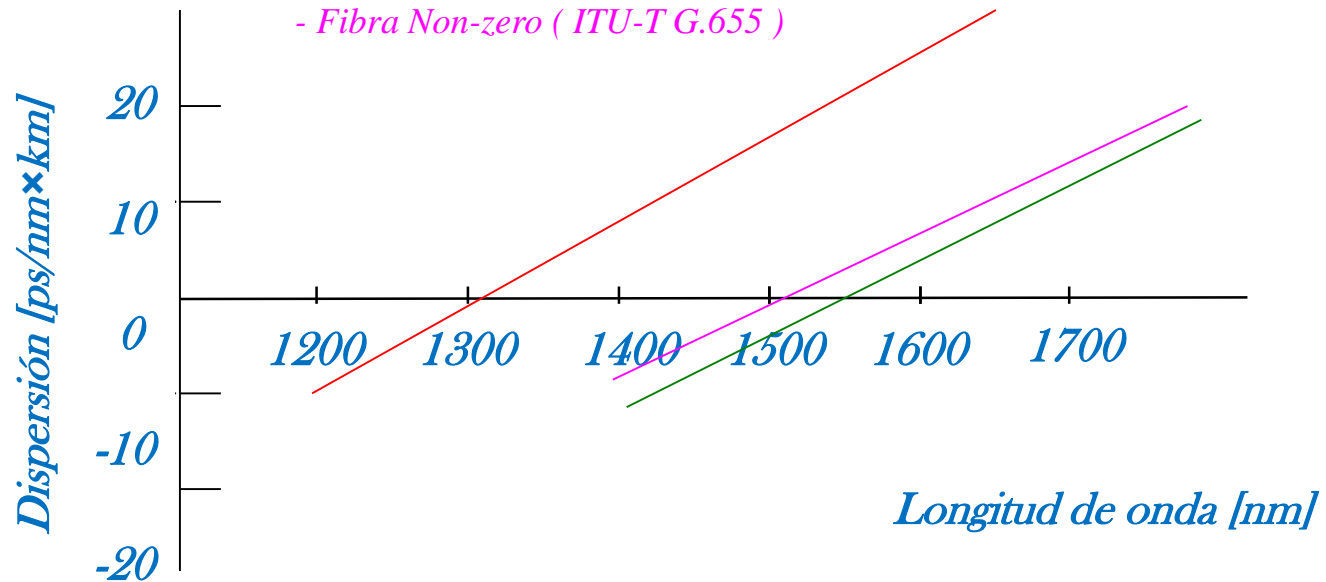
## *curva de dispersión cromática de Fibras - Monomodo -*

- Fibra de Dispersión no desplazada ( ITU-T G.652 )
- Fibra de Dispersión desplazada ( ITU-T G.653 )



## Dispersión Cromática

- Fibra de Dispersión no desplazada ( ITU-T G.652 )
- Fibra de Dispersión desplazada ( ITU-T G.653 )
- Fibra Non-zero ( ITU-T G.655 )



# Fibra óptica - Evolución

## Fibra multimodo - Índice escalón

- *Problema : Dispersión modal.*

## Fibra multimodo - Índice gradual

- *Que cambio ? : Perfil de índice de refracción. Mejora la disp. modal*
- *Problema : Ancho de banda limitado aún por dispersión*

## Fibra monomodo - Dispersión estándar (ITU G652)

- *Que cambio ? : Diámetro del núcleo. (de 50 a 10  $\mu\text{m}$ ). Desaparece dispersión modal.*
- *Problema : zona con mejores características de atenuación (3 V) distinta de la zona de mejores características de dispersión (2 V)*

## Fibra monomodo - Dispersión desplazada (ITU G653)

- *Que cambio ? : Perfil de índice de refracción - Dispersión del guía de ondas.*
- *Problemas : transmisión de WDM (+ de 4 longitudes de onda)*

## Fibra monomodo – Non - Cero Dispersión (ITU G655)

- *Que cambio ? : Dispersión mínima en torno a 1550 nm evita que la intermodulación entre las distintas longitudes de ondas degraden la señal.*
- *Favorece la transmisión en DWDM (Long haul y Metro)*

# ***AREAS DE APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS MONOMODO***

- ✓ Áreas metropolitanas y redes de acceso :
  - Fibra según G.652 (C-SMF)
  
- ✓ Aplicaciones de larga distancia :
  - Fibra según G.652 (C-SMF)
  - Fibra según G.653 (DS-SMF)
  - Fibra según G.655 (NZD-SMF o TRUEWAVE)

# ***AREAS DE APLICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS MULTIMODO (850 nm / 1300 nm)***

## ✓ FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO de 50/125 $\mu\text{m}$ :

Las aplicaciones son las siguientes:

Cableado de Redes de Área Local (LAN) con vídeo, datos y voz.  
Fuente óptica: LED, VCSEL o Laser Fabry Perot

## ✓ FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO de 62,5/125 $\mu\text{m}$ :

Las aplicaciones son las siguientes:

Cableado de Redes de Área Local (LAN) con video, datos y voz,  
utilizando LED.

De aplicación frecuente en redes Ethernet (100 Mbps. / 1 Gbps. / 10 Gbps.

Fuente óptica: LED, VCSEL o Laser Fabry Perot.

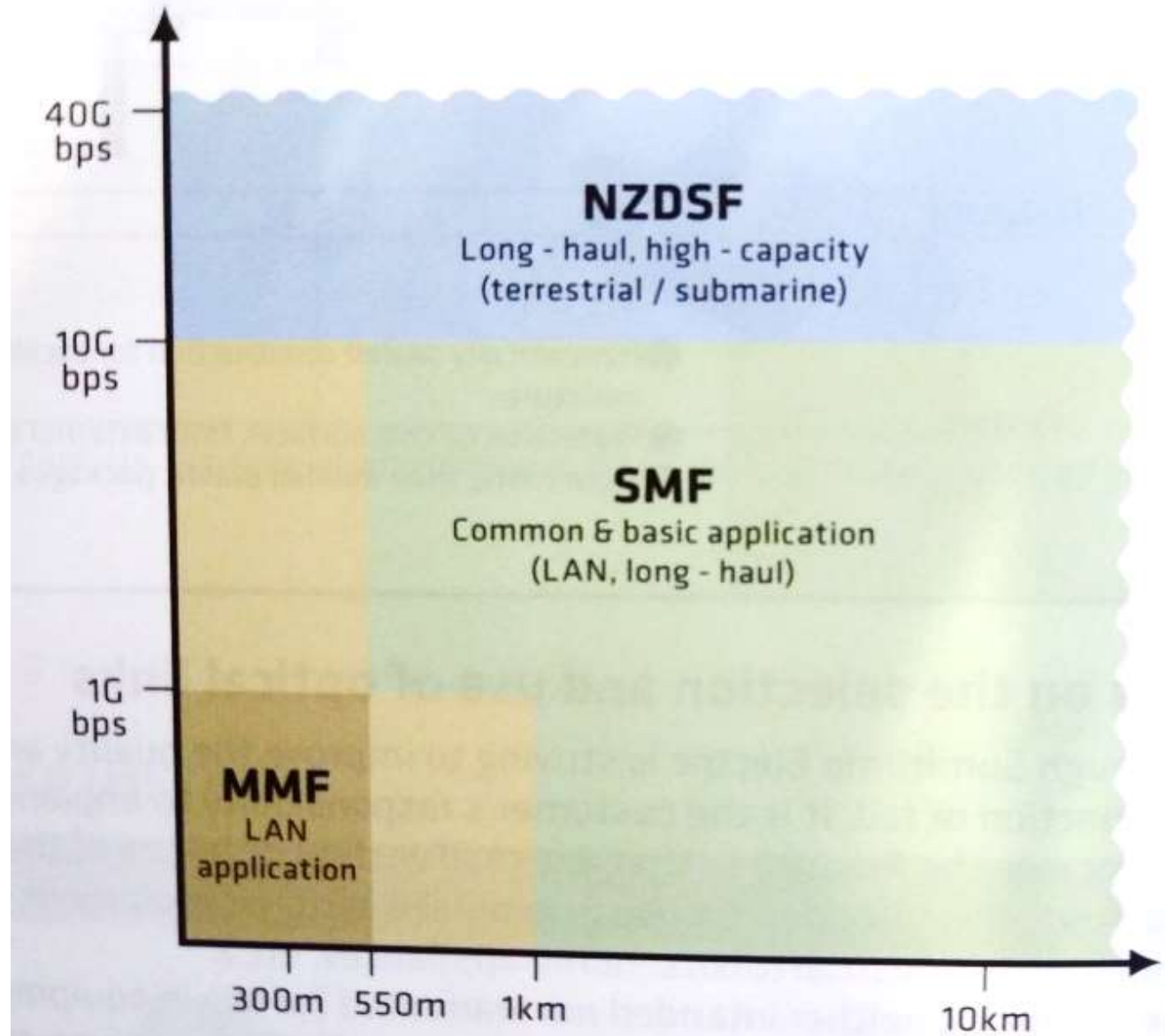
# FIBRA ÓPTICA MULTIMODO - MM50/MM62

- ◆ OM-1 OM-2 OM-3 OM-4
- ◆ G651 **OM-1** FIBRA OPTICA MULTIMODO 62,5/125 um (100 MHz hasta 2000 mts, 1 GB hasta 400 mts, 10 GB hasta 30 mts )
- ◆ G651 **OM-2** FIBRA OPTICA MULTIMODO 50/125 um (100 MHz hasta 2000 mts, 1GB hasta 500 mts, 10 GB hasta 30 mts )
- ◆ G651 **OM-3** FIBRA OPTICA MULTIMODO 50/125 um (100 MHz hasta 2000 mts , 1 GB hasta 500 mts, 10 GB hasta 300 mts )
- ◆ G651 **OM-4** FIBRA OPTICA MULTIMODO 50/125 um (100 MHz hasta 2000 mts , 1 GB hasta 1000 mts, 10 GB hasta 500 mts )

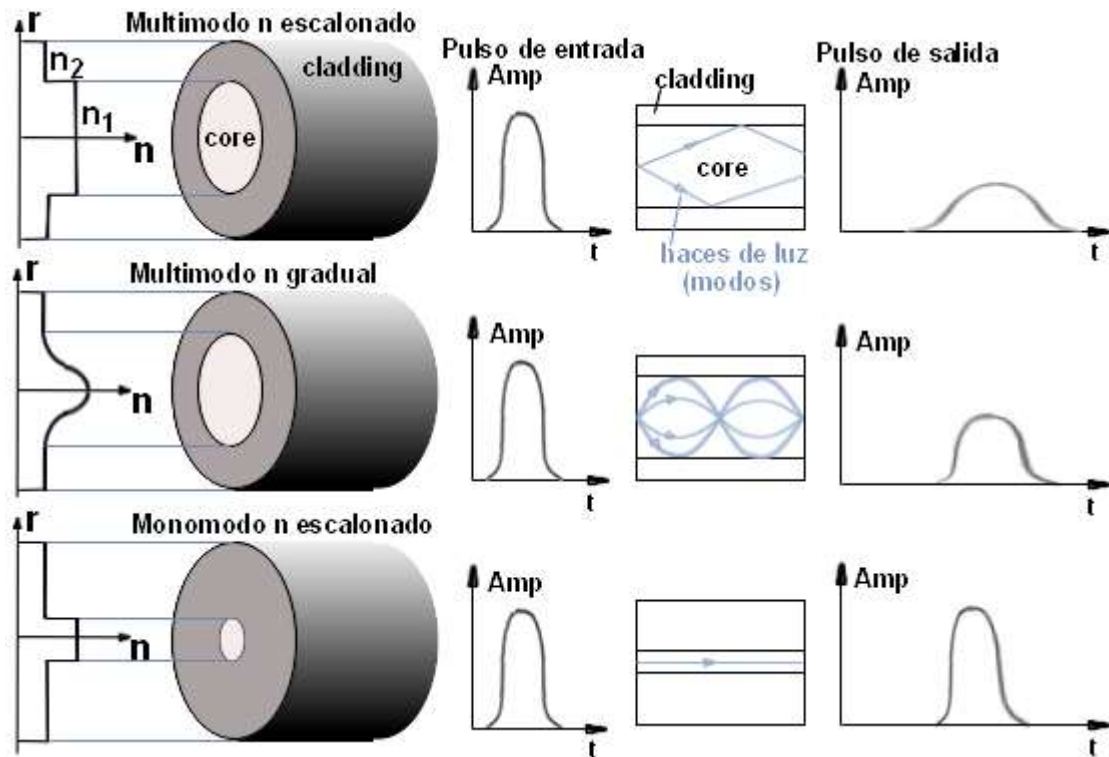
Protocolo	MM 62,5/125 OM1		MM 50/125 OM2		MM 50/125 OM3		MM 50/125 OM4		SM tipo OS2	
	Long. de onda		Long. de onda		Long. de onda		Long. de onda		Long. de onda	
	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	1300 nm	1550 nm
Fast Ethernet 100 Mbps	300 m.	2000 m.	300 m.	2000 m.	300 m.	2000 m.	300 m.	2000 m.	2000 m.	N/A
Gigabit Ethernet 1Gbps	330 m.	550 m.	550 m.	550 m.	900 m.	550 m.	1040 m.	550 m.	5000 m.	N/A
10 Gigabit Ethernet	35 m.	300 m. (*)	86 m.	300 m. (*)	300 m.	300 m. (*)	550 m.	300 m. (*)	10 Km.	40 Km.

Tipo de fibra	Atenuación máxima (dB/Km) 850 nm	Atenuación máxima (dB/Km) 1300 nm	Atenuación máxima (dB/Km) 1310 nm	Atenuación máxima (dB/Km) 1550 nm
62,5/125 OM1	3,5	1,5	-	-
50/125 OM2	3,5	1,5	-	-
50/125 OM3	3,5	1,5	-	-
50/125 OM4	3,5	1,5	-	-
SM OS2	-	-	0,4	0,4

## Transmission rate



Tipo de Fibra/Material/ Diámetros/Índice	AN [ - ]	Atenuación [dB/km]	Disp.Modal [ps/km]	Disp. Cromát. [ps/km nm]	ABxDistancia [MHz/km]
MM Plastic. 0.98/1mm	0,5	300 (660nm)	300.000	despreciable	4
MM Si. 50/125um SI	0,21	0,5 (1.300nm)	300 - 900	despreciable	500 - 1500
MM Si. 62,5/125um GI	0,27	0,7 (1.300nm)	400 - 900	despreciable	500 - 1200
MM Si. 100/140um SI	0,2-0,3	5,0 (850nm)	22.000	despreciable	20
SM Si. 9/125um SI	0,1	0,35 (1300nm)	nula	< 3,5	125 GHz
SM Si. 9/125um SI	0,1	0,25 (1550nm)	nula	< 20	25 GHz



## ASPECTOS RELACIONADOS CON LA TRANSMISIÓN EN SISTEMAS DE ALTA VELOCIDAD: EFECTOS NO LINEALES Y PMD

### Características del PMD (Dispersión por Modo Polarizado)

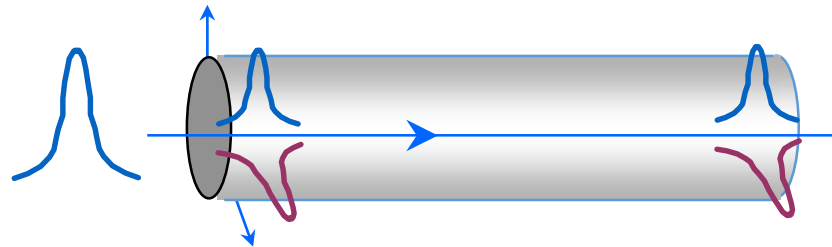
- *Es un fenómeno aleatorio , de difícil compensación.*
- *Los valores de PMD pueden presentar variaciones durante el ciclo de vida de las fibras.*
- *Las condiciones de instalación y ambientales tienen un importante efecto sobre el valor del PMD.*
- *Afecta a todos los tipos de fibra.*
- *Es una importante limitación para velocidades de 10 Gbit/s o mayores.*

## Características del PMD (Dispersión por Modo Polarizado)

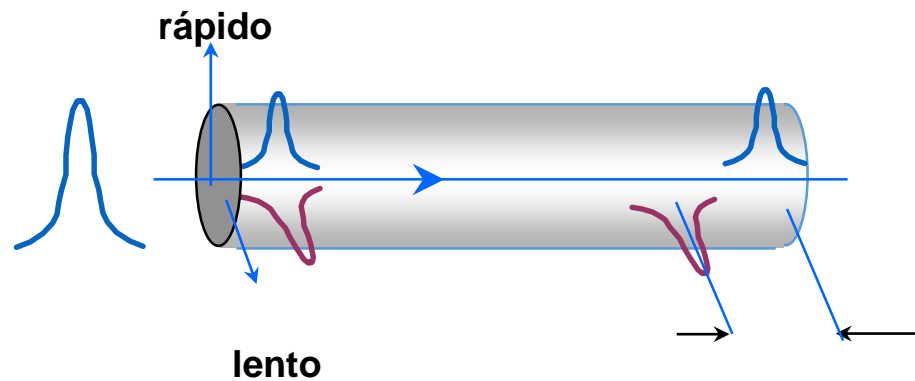
- ✓ La luz que se propaga por una fibra óptica monomodo se descompone en dos modos de polarización ortogonales. Si la fibra fuera perfectamente circular y las propiedades físicas y químicas fueran iguales en todas las direcciones, los dos modos se propagarían a la misma velocidad y llegarían al receptor sin ningún retardo entre ellos.
- ✓ Pero todas las fibras presentan algún grado de birefringencia (el índice de refracción no es constante, depende direccionalmente), viajando la luz más rápido en un estado de polarización que en el otro.

# Características del PMD (Dispersión por Modo Polarizado)

**Fibra ideal**



**Fibra real**



**PMD = demora de tiempo**

## Características del PMD (Dispersión por Modo Polarizado)

- ✓ El grado de birefringencia también está asociado con las asimetrías en la geometría de la fibra.
- ✓ El interés de este parámetro es reciente porque sus efectos son sólo relevantes a velocidades altas y en grandes longitudes de fibra, utilizando amplificadores ópticos (EDFA's) entre vanos.
- ✓ El ITU-T ha establecido que una fibra actual debe poseer un coeficiente de PMD no superior a  $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .
- ✓ La dispersión acumulada debido al PMD para un enlace óptico a 10 Gbit/s establece un alcance máximo limitado aproximadamente 400 km para esta velocidad.

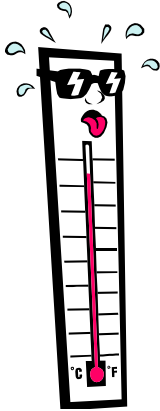
## *Dispersión de Modos Polarizados (PMD)*

- *El tiempo de retardo DGD [ ps ] es una cantidad que varia aleatoriamente en función del tiempo y de la longitud de onda.*
- *El coeficiente de PMD es el valor medio de los tiempos de retardo por km o  $\text{km}^{1/2}$  dependiendo de las características del acoplamiento de modos que presente la fibra .*
- *El PMD se genera por causas intrínsecas y extrínsecas*

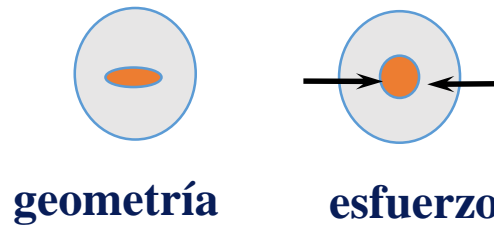
<i>Causas Intrínsecas</i>	<i>Causas Extrínsecas</i>
<i>Geometría</i>	<i>Flexiones</i>
<i>Variaciones del índice de refracción</i>	<i>Torsiones</i>
<i>Tensiones Residuales del material</i>	<i>Variaciones Térmicas</i>

## CAUSAS del PMD

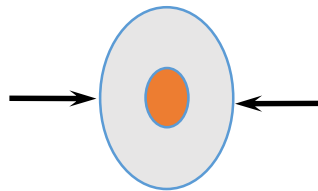
temperatura



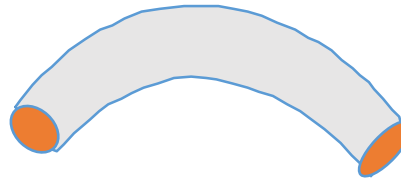
Intrínsecas



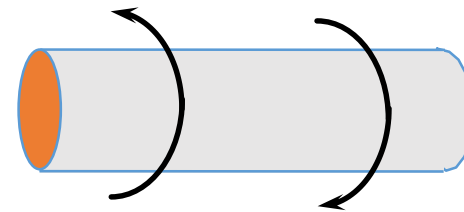
Extrínsecas



esfuerzo



flexión



torsión

## *Requisitos para el PMD*

### *Requerimientos propuestos para la dispersión de modos polarizados*

<i>Velocidad de Bit [ Gbit/s ]</i>	<i>DGD Máximo [ ps ]</i>	<i>Coefficiente de PMD [ ps / km<sup>1/2</sup> ]</i>
2.5	40	< 0.5 ( * )
10	10	< 0.5 ( * )

( \* ) *Según Especificación de Requisitos G.T.ER.f6.002*