

# TIPOS DE FIBRA ÓPTICA MÁS ALLÁ DE **MONOMODO** Y **MULTIMODO**



*oetronics*®



**Colaboración Especial**

**Ing. Gabriel Rodríguez**

Gerente de Producción Optronics

[gabriel.rodriguez@optronics.com.mx](mailto:gabriel.rodriguez@optronics.com.mx)

800 800 00 11



**Víctor Chávez**

Presentador

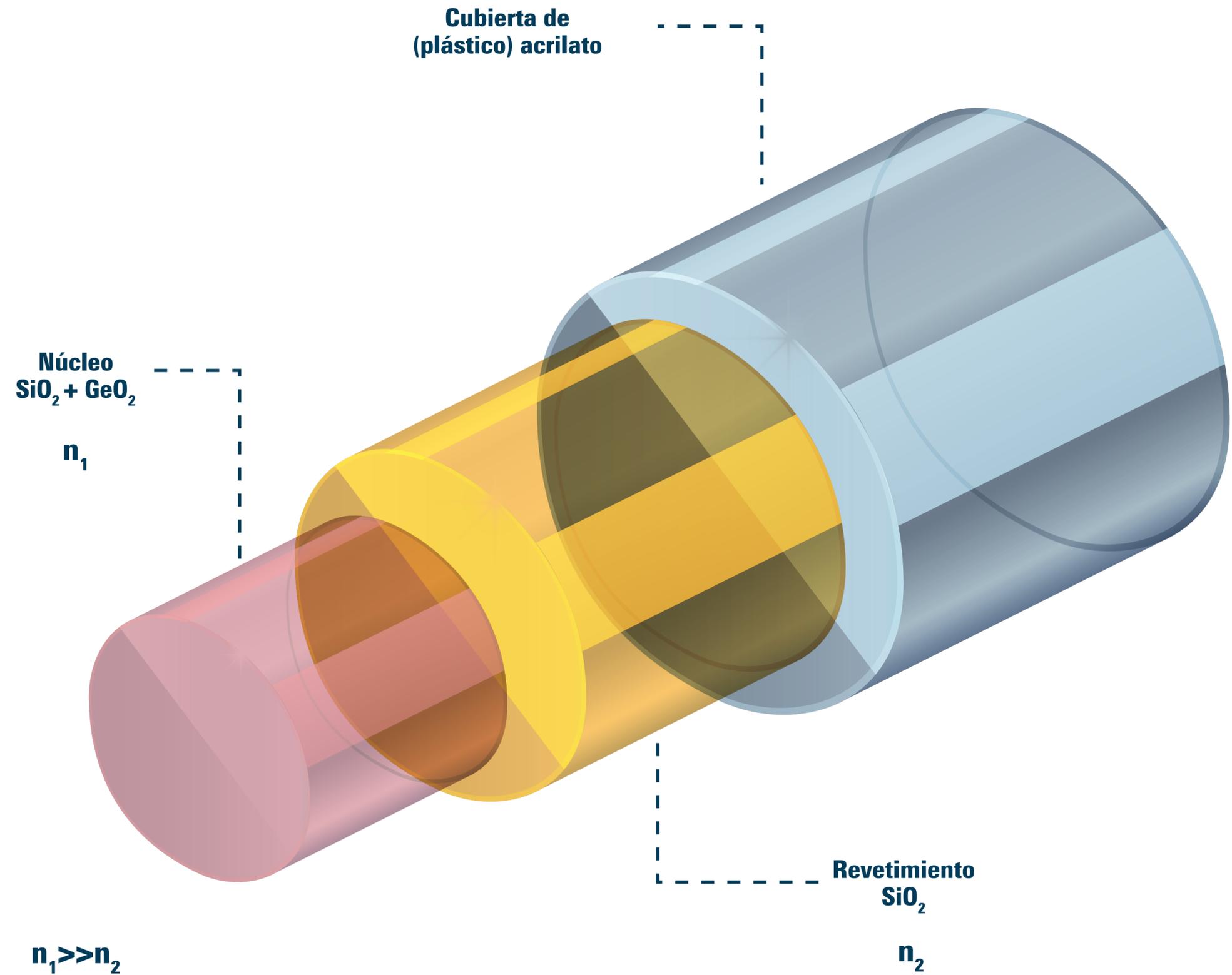
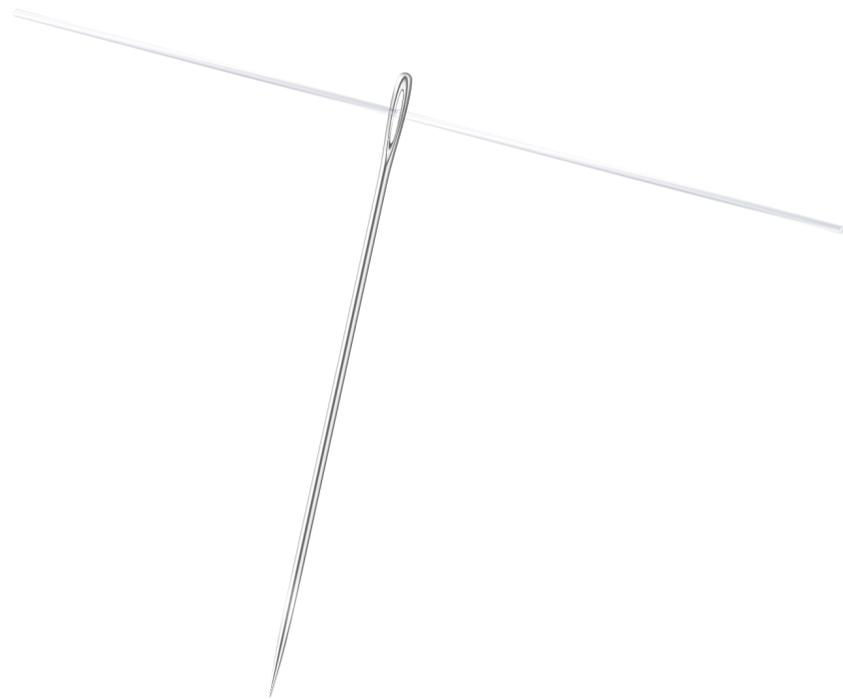
[victor.chavez@optronics.com.mx](mailto:victor.chavez@optronics.com.mx)

800 800 00 11 Ext. 4813

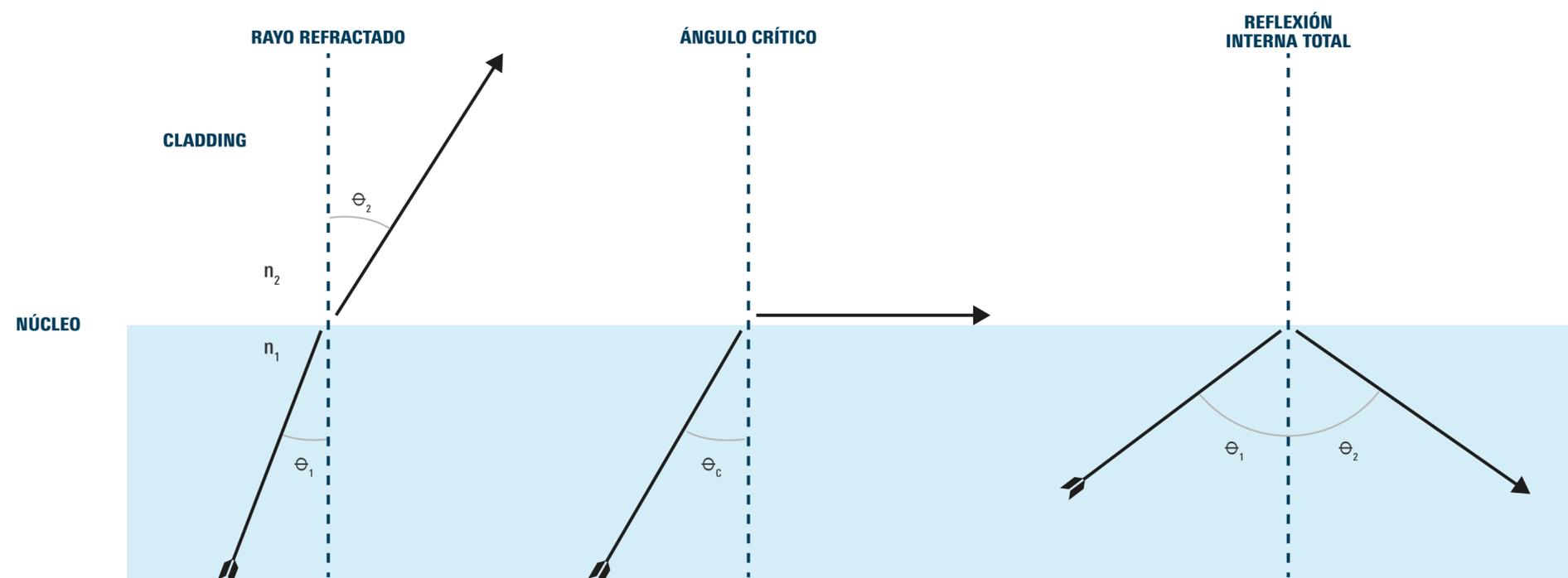


# FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es una delgada hebra de vidrio o silicio fundido que conduce la luz.



# REFLEXIÓN INTERNA TOTAL

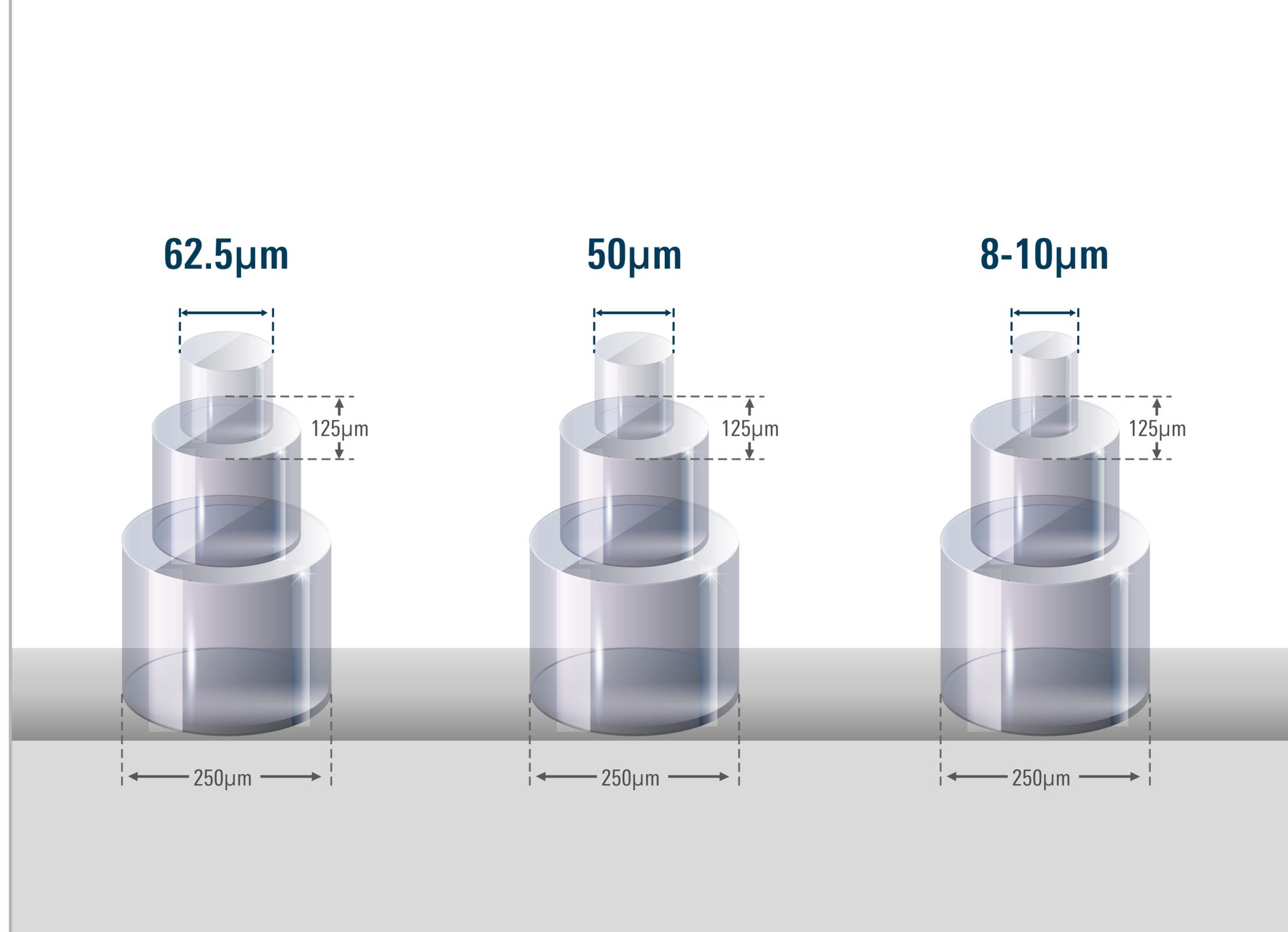


LEY DE SNELL  
 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$   
Calcular ángulos de refracción

Para no generar refracción de luz, implica que el ángulo de refracción sea  $\geq 90^\circ$ .



# TIPOS DE FIBRA ÓPTICA POR TAMAÑO DE NÚCLEO



## FIBRA ÓPTICA MULTIMODO (MM)

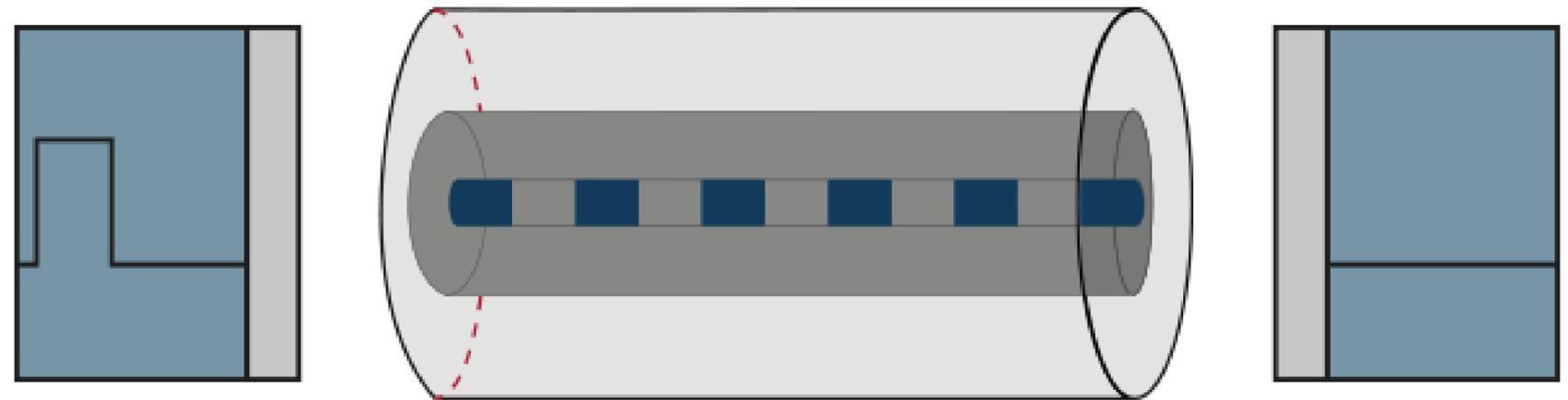
- Propaga más de un modo de luz.
- Diámetro de núcleo más grande en comparación con las fibras monomodo.
- Son empleadas en enlaces con distancias no mayores a 2 km.
- Fuente de luz que emplean son:
  - Tipo LED y VCSEL
- Los modos de propagación empleados son:
  - Escalonado y gradual.



La unión internacional de telecomunicaciones (ITU) en la recomendaciones ITU-T G651.1 puede transmitir varios haces de luz por sucesivas reflexiones, dichas reflexiones causan dispersión, razón principal que limita la distancia de alcance en los enlaces donde se emplea esta fibra.

## FIBRA ÓPTICA MONOMODO (SM)

- Propaga un solo modo de luz.
- Diámetro de núcleo pequeño en comparación con las fibras multimodo.
- Son empleadas en enlaces con distancias largas.
- Fuente de luz que emplean son tipo láser.
- El modo de propagación empleado es escalonado.



# FIBRA ÓPTICA MULTIMODO

La elección de la fibra óptica multimodo depende de la aplicación a soportar y de la distancia, ya que este tipo de fibras utilizan luz normal no coherente, es decir, cada pulso genera múltiples rayos de luz que se propagan en diferentes modos con dispersión, por lo que no se puede usar en largas distancias al tener mayor atenuación.

TIPO DE FIBRA	TAMAÑO DE NÚCLEO	PERFIL DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN
OM1	62.5 um	Escalonado
OM2	50 um	Gradual
OM3		
OM4		
OM5		



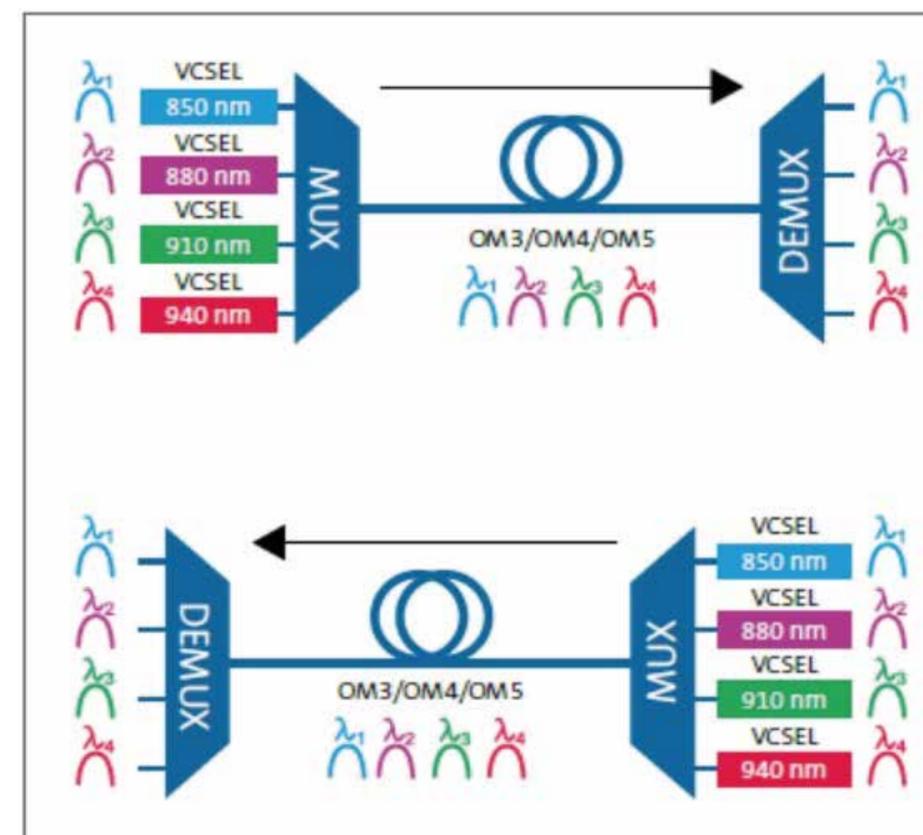
Los tamaños de núcleo, fuentes de luz, DMD y ancho de banda modal, dan idea técnica de la construcción y el rendimiento de las fibras multimodo, pero lo que la mayoría quiere saber es que aplicaciones admiten.

## VELOCIDAD Y DISTANCIAS APLICABLES

TIPO DE FIBRA	ANCHO DE BANDA 850 / 1,300nm (MHz*Km)	DISTANCIA MÁXIMA 10 /100 BASE-SX	DISTANCIA MÁXIMA 1,000 BASE-SX	DISTANCIA MÁXIMA 10 G BASE-SR	DISTANCIA MÁXIMA 40 /100G BASE-SR
 <b>OM1</b> <small>MULTIMODO</small>	200 / 500	2,000 m	275m	33m	---
 <b>OM2</b> <small>MULTIMODO</small>	500 / 500	2,000 m	550m	85m	---
 <b>OM3</b> <small>MULTIMODO</small>	2,000 / 500	2,000 m	1,000m	300m	100m
 <b>OM4</b> <small>MULTIMODO</small>	4,700 / 500	2,000 m	1,100m	400m	150m

## MULTIMODO OM5 (TIA-492AAAE)

- Fibra Multimodo de banda ancha (WBMMF) 50/125um para admitir la transmisión de multiplexado por división de longitud de onda corta (SWDM).
- Utiliza cuatro longitudes de onda en un rango de 850 a 940 nm.
- Los transceptores SWDM están diseñados para usar una conectividad de 2 fibras en un transceptor con OM3/OM4/OM5.



	OM3	OM4	OM5
40G SWDM	240 m	350 m	440 m
100G SWDM	75 m	100 m	150 m



# ESTÁNDARES APLICABLES

FIBRA	TIPO	ESTÁNDARES
<b>MULTIMODO</b>	OM1 Fiber	ISO/IEC 11801 Type OM1 Fiber IEC 60793-2-10 Type A1b Fiber TIA/EIA 49AAAA-A
	OM2 Fiber	ISO/IEC11801 Type OM2 Fiber IEC60793-2-10 Type A1a.1 Fiber TIA/EIA492AAAB-A ITUG651.1
	OM3 Fiber	ISO/IEC11801 Type OM3 Fiber IEC60793-2-10 TypeA1a.2 Fiber TIA/EIA492AAAC-B ITUG651.1
	OM4 Fiber	ISO/IEC11801 Type OM4 Fiber IEC60793-2-10 TypeA1a.3 Fiber TIA/EIA492AAAD ITUG651.1



# VENTANAS DE TRANSMISIÓN

## Ventanas o bandas de la Fibra Óptica

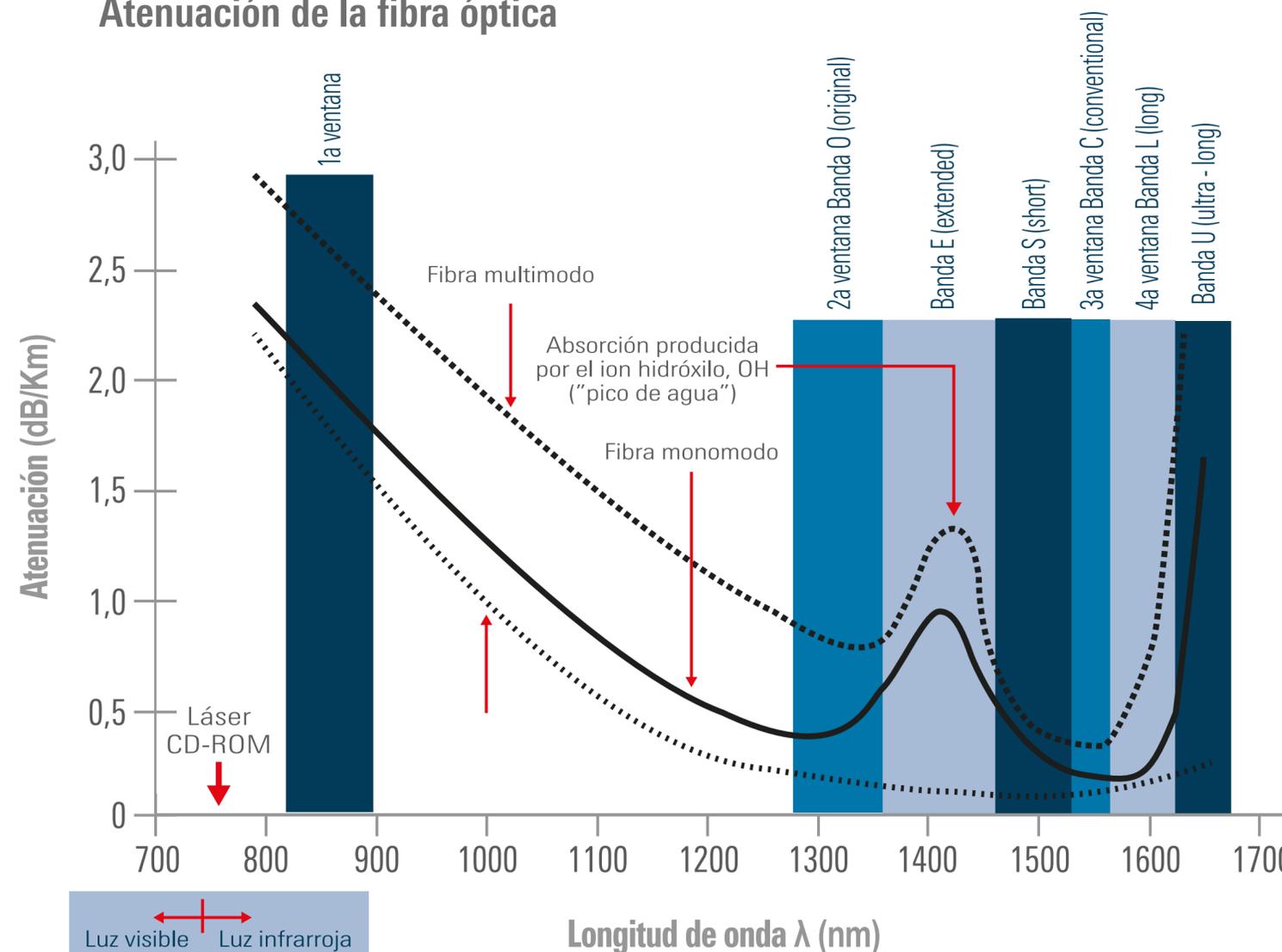
VENTANA	BANDA (ITU-T)	$\lambda$ (nm)	ATENUACIÓN TÍPICA (dB/Km)	ALCANCE (Km)	COSTO OPTOELECTRÓNICA	TIPO FIBRA	APLICACIONES
1ra (años 70)		820-900	2,5	2	Bajo	MM	10M/Gb/10GbEth
2da (años 80)	O	1260-1360	0,34	40-100	Maedio	MM y SM	10M/Gb/10GbEth SONET/SDH, CWDM
(años 00)	E	1360-1460	0,31 (LWP)	100	Alto	SM	CWDM
(años 00)	S	1460-1530	0,25	100	Alto	SM	CWDM
3ra (años 90)	C	1530-1565	0,2	160	Alto	SM	10GbEth, DWDM CWDM
4ta (años 00)	L	1565-1625	0,22	160	Alto	SM	DWDM CWDM
(años 00)	U	1625-1675				SM	

ión hidroxilo OH-

**Micra:** Medida de longitud, de símbolo  $\mu$ , que es la millonésima parte de un metro ( $10^{-6}$ m).

**Nanómetro**=Medida de longitud que equivale a la milmillonésima parte del metro ( $10^{-9}$ m).

## Atenuación de la fibra óptica



## PROPIEDADES DEL HILO DE FIBRA ÓPTICA.

La atenuación de una fibra óptica a la longitud de onda ( $\lambda$ ) entre dos secciones transversales 1 y 2, separadas por una distancia L se define mediante la ecuación 1

$$A(\lambda) = 10 \log_{10} P_1(\lambda) / P_2(\lambda)$$

Dónde:

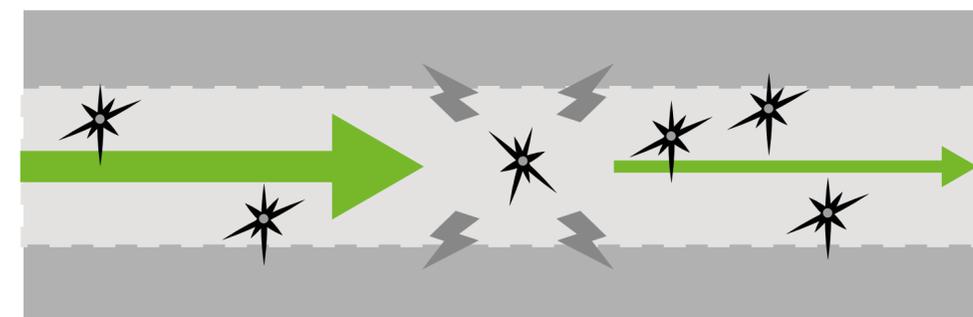
$A(\lambda)$  Es la atenuación a la longitud de onda  $\lambda$  expresada en dB.

$P_1(\lambda)$  Es la potencia a la entrada de la sección 1 de la fibra.

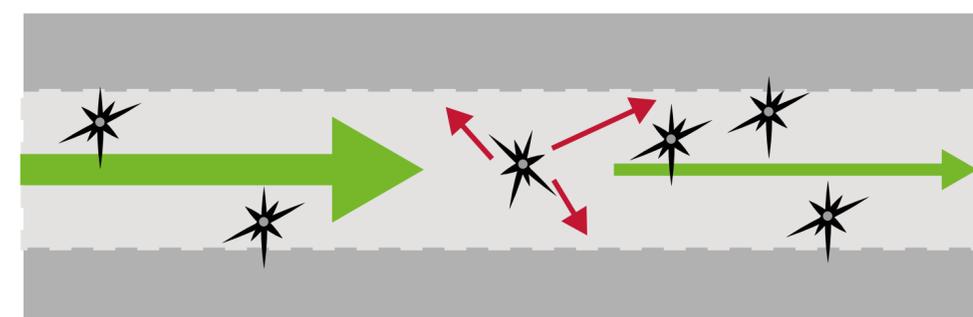
$P_2(\lambda)$  Es la potencia a la salida de la sección 2 de la fibra.

La atenuación es el resultado de dos factores:

### ABSORCIÓN



### DISPERCIÓN RAYLEIGH



## COEFICIENTE DE ATENUACIÓN:

Es la atenuación por unidad de longitud. Para una sección uniforme de fibra en reposo, el coeficiente de atenuación se define mediante la ecuación 2.

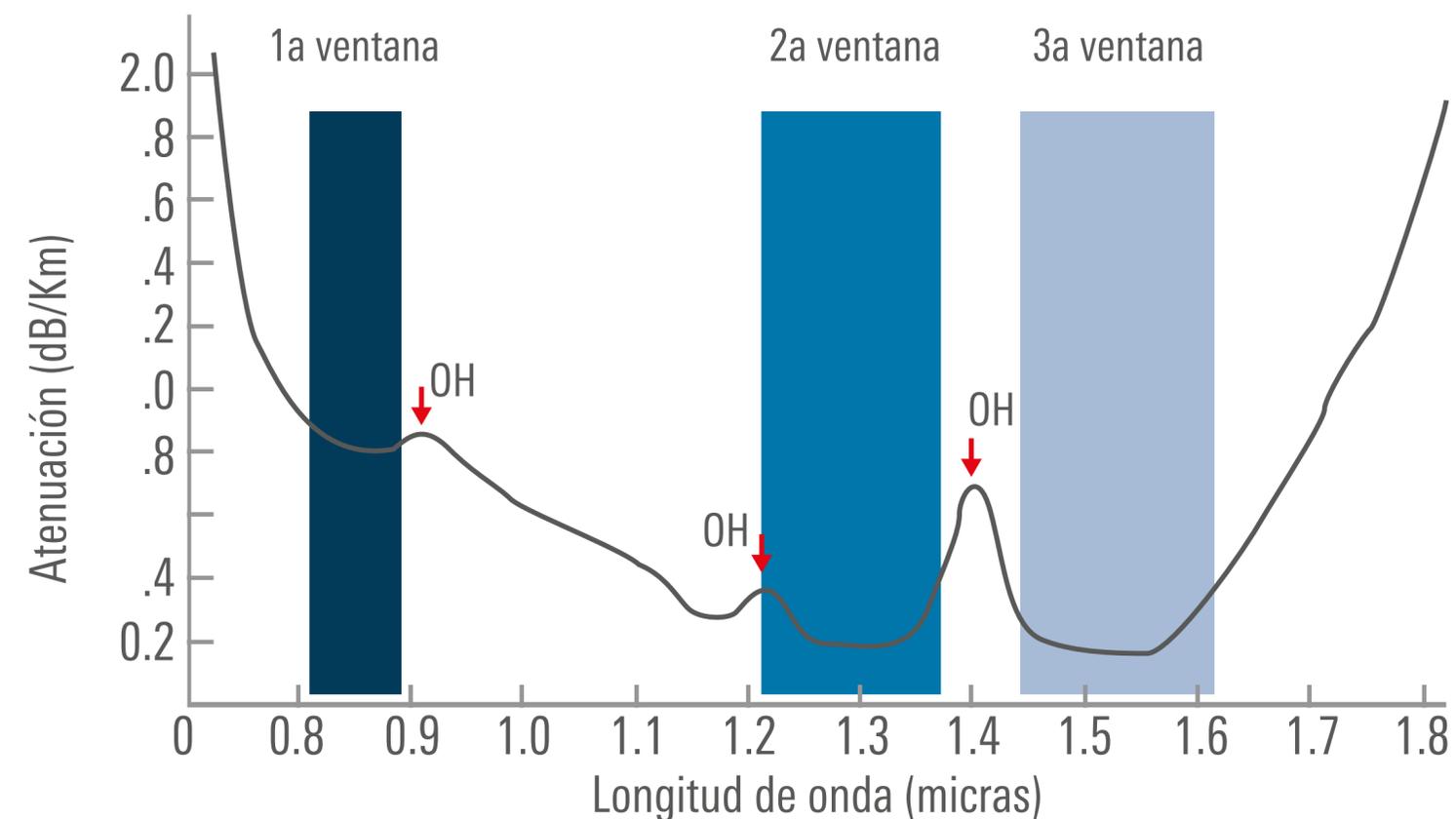
$$\alpha(\lambda) = A(\lambda) / L$$

Dónde:

$\alpha(\lambda)$  Es el coeficiente de atenuación a la longitud de onda  $\lambda$ .

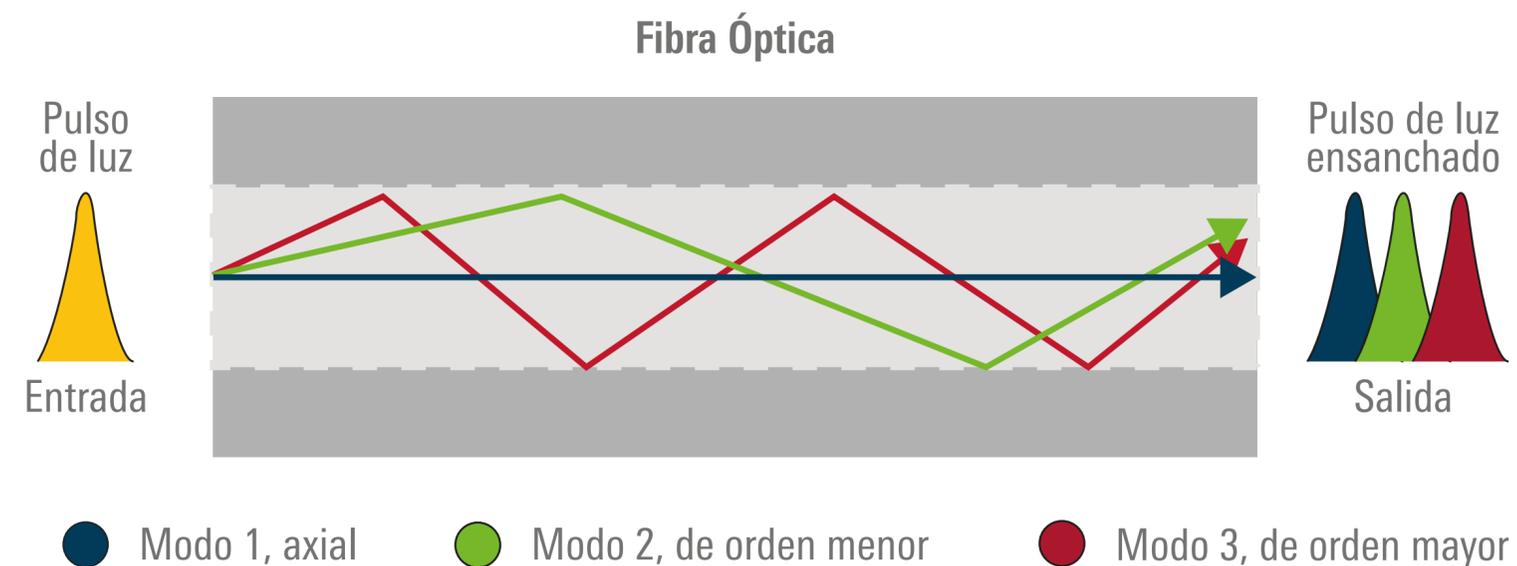
$A(\lambda)$  Es la atenuación a la longitud de onda  $\lambda$ .

$L$  Es la longitud de la fibra.



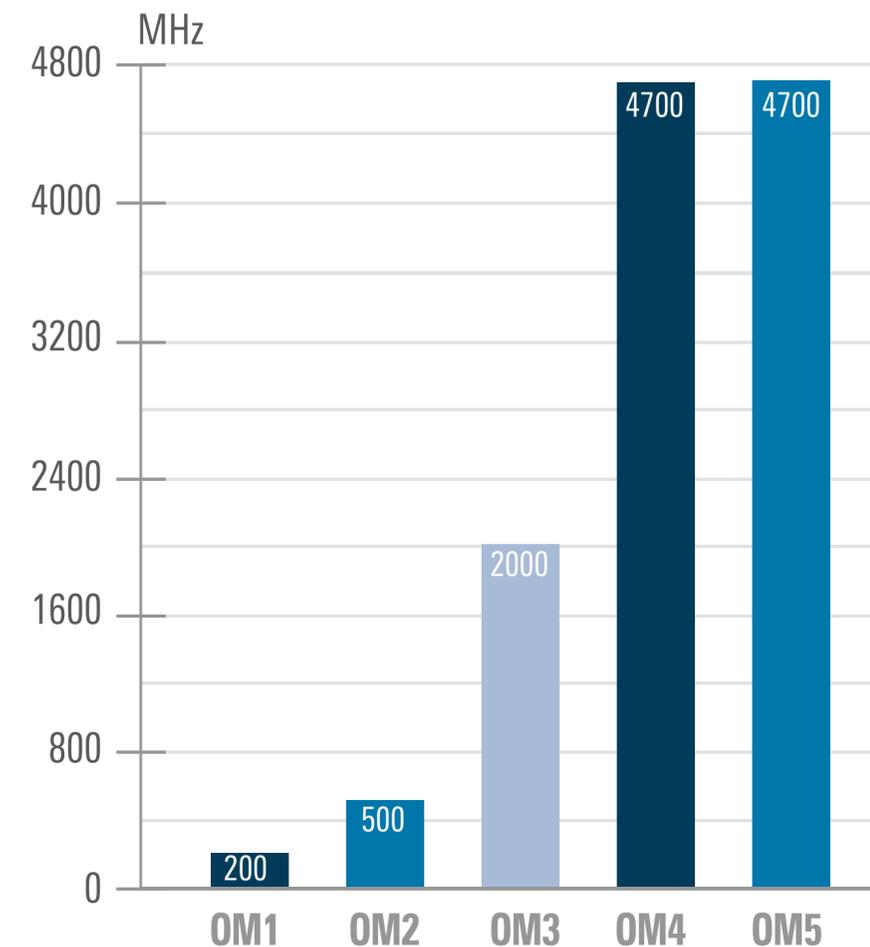
## DISPERSIÓN MODAL:

Todos los modos de propagación deberían tener la misma velocidad para que no existiera la dispersión modal, pero en realidad en las fibras, el perfil del índice es una aproximación gradual y no se transmiten todos los modos de forma perfecta, debido a que los modos de orden superior tienen desviaciones mayores, la dispersión modal de una fibra (y en consecuencia su ancho de banda de láser) tiende a ser muy sensible a las condiciones modales en la fibra.



# RENDIMIENTO DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO

## ANCHO DE BANDA 850nm (MHz · Km)



### FUENTE

- TIA-568.3 – Optical Fiber Cabling and components standards.
- ISO/IEC 11801 1-1:2017 – Information technology – Generic cabling for customer premises.
- IEEE 802.3 – Ethernet family standards.
- BICSI -Telecommunications Distribution Methods Manual.

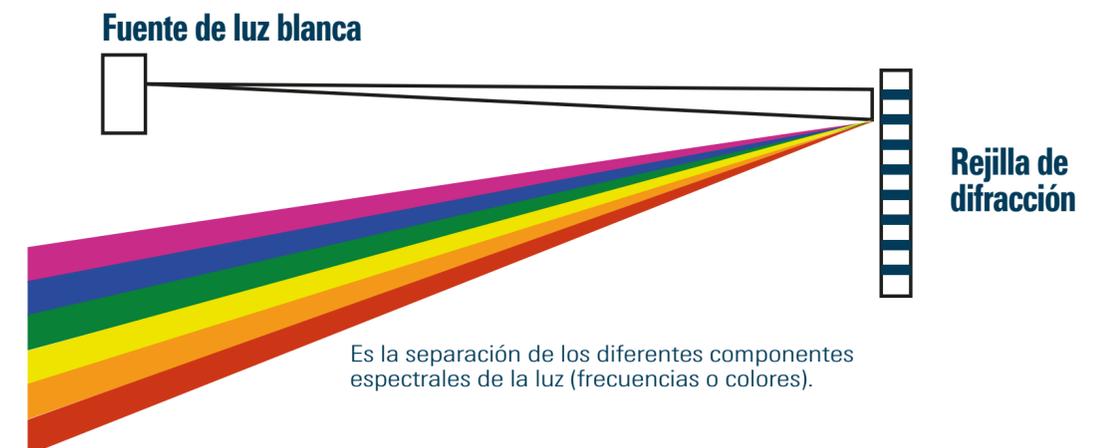
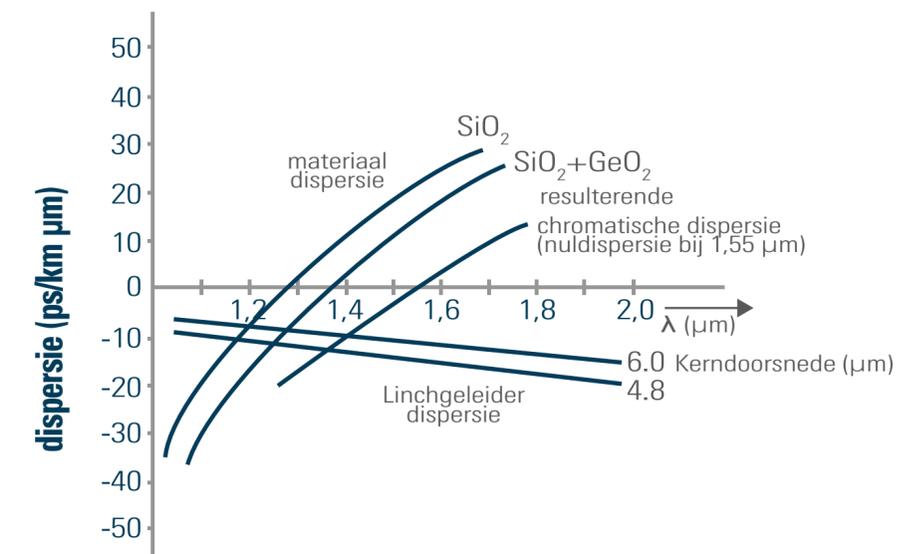
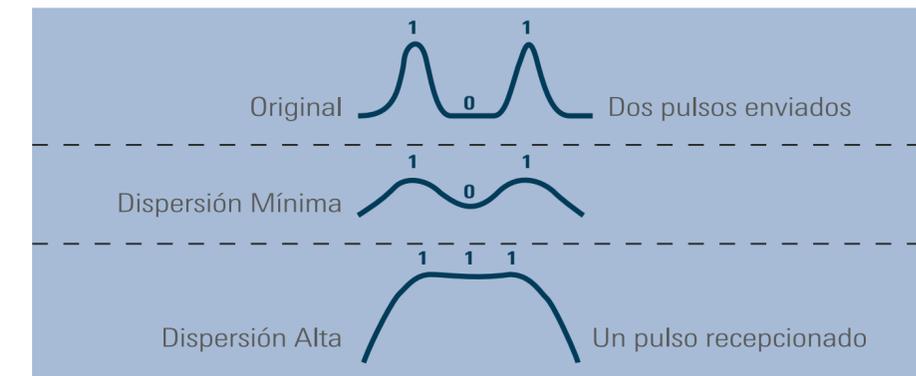
## RENDIMIENTO - ATENUACIÓN

TIPO DE FIBRA	LONGITUD DE ONDA (nm)	ATENUACIÓN MÁXIMA
 <b>OM1</b> MULTIMODO 62.5/125µm	850nm 1300nm	3.5 dB/Km 1.5 dB/Km
 <b>OM2</b> MULTIMODO 50/125µm	850nm 1300nm	3.5 dB/Km 1.5 dB/Km
 <b>OM3</b> MULTIMODO 50/125µm	850nm 1300nm	3.0dB/Km 1.5dB/Km
 <b>OM4</b> MULTIMODO 50/125µm	850nm 1300nm	3.0dB/Km 1.5dB/Km
 <b>OM5</b> MULTIMODO 50/125µm	850nm 953nm 1300nm	3.0dB/km 2.3dB/km 1.5dB/km
<b>Monomodo</b> Planta interna	1310nm 1550nm	1.0dB/Km 1.0dB/Km
<b>Monomodo</b> Planta externa	1310nm 1550nm	0.4dB/Km 0.4dB/Km

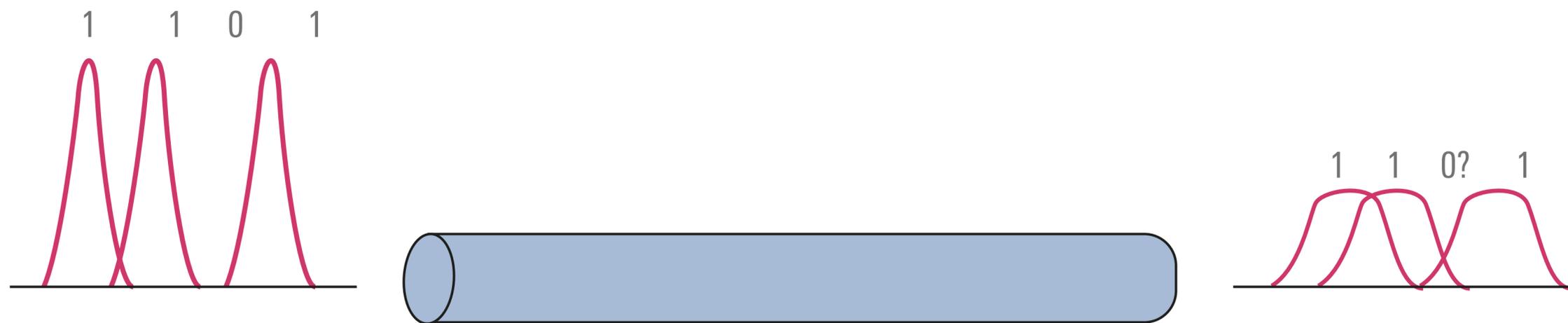
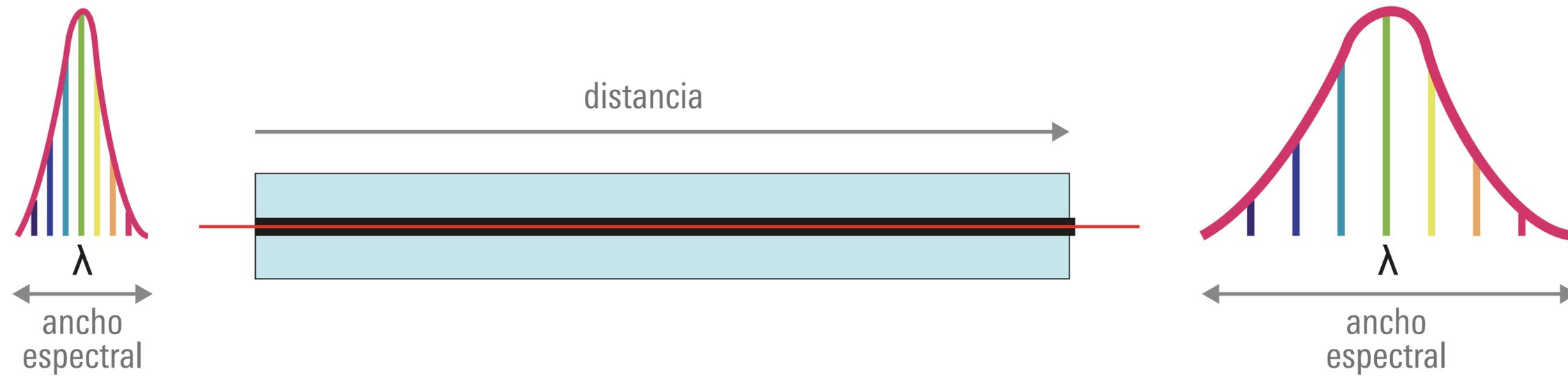
## DISPERSIÓN CROMÁTICA:

La dispersión cromática es la variación en la velocidad de propagación de la luz en un medio (fibra óptica) en función de la su longitud de onda. Esta diferencia en la velocidad de propagación da como resultado un ensanchamiento de los pulsos de luz a medida que viajan a través de una fibra, provocando interferencia entre bits, incrementando el BER y reduciendo el ancho de banda de la fibra.

### SOBRE SOLAPAMIENTO DE PULSOS



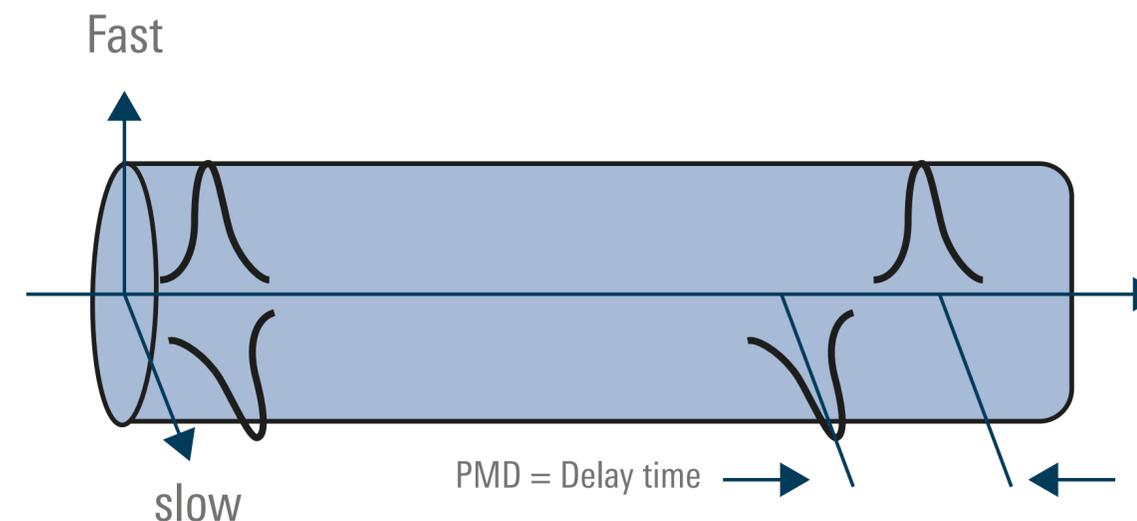
# DISPERSIÓN EN FIBRAS ÓPTICAS



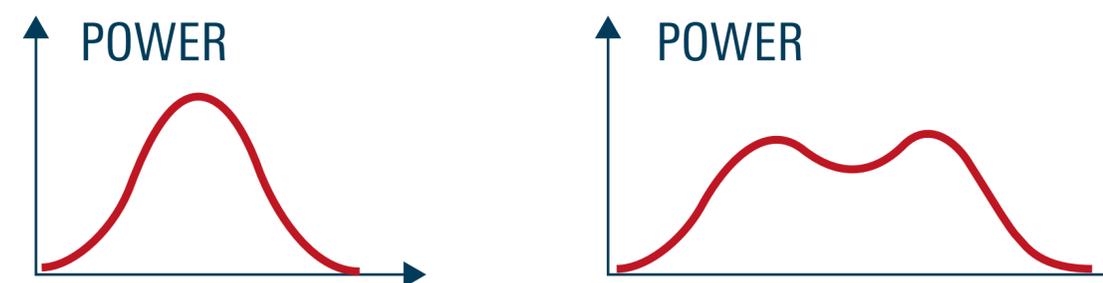
## DISPERSIÓN DE MODOS POR POLARIZACIÓN (PMD):

PMD es una limitante en los sistemas de transmisión por fibra óptica de alta velocidad (10 Gbps) y de larga distancia. PMD produce ensanchamientos de los pulsos ópticos transmitidos por una fibra óptica, lo que provoca interferencia entre símbolos y, por lo tanto, un aumento de la tasa de bit erróneo (BER).

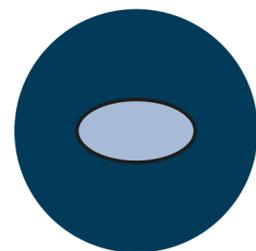
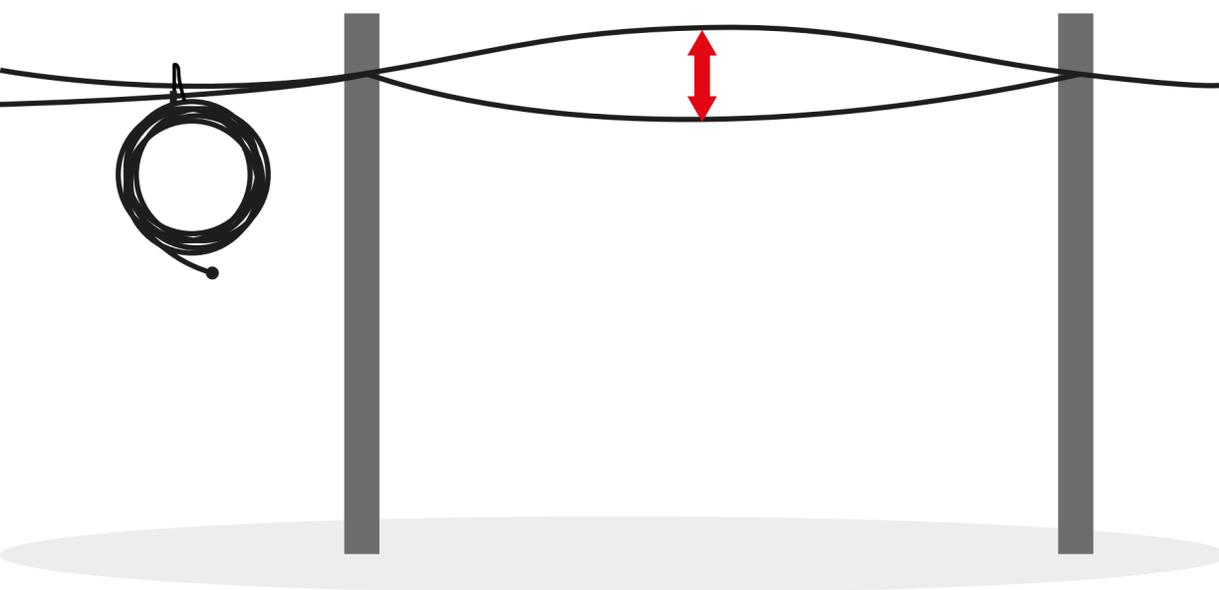
PMD ocurre cuando las dos componentes ortogonales de polarización, llamados modos de polarización, del modo fundamental de propagación viajan a distinta velocidad de grupo, llegando en distintos tiempos al final de la fibra óptica, ensanchando y distorsionando los pulsos. Esta diferencia de retardo entre los modos de polarización se denomina retardo diferencial de grupo (DGD: Differential Group Delay). Este parámetro se utiliza para determinar la PMD.



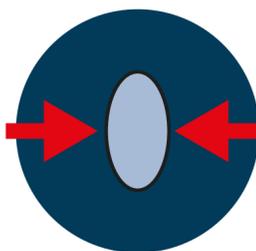
PMD - polarization mode dispersion



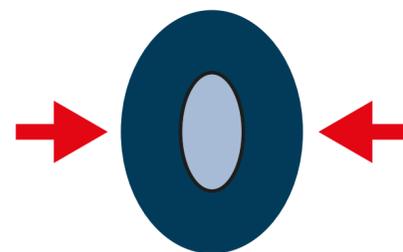
## CAUSAS DEL PMD



Elipticidad del núcleo



Presión Interna



Presión Externa

La deformación del núcleo de la fibra por factores intrínsecos (fabricación) produce un PMD intrínseco fijo en la fibra.

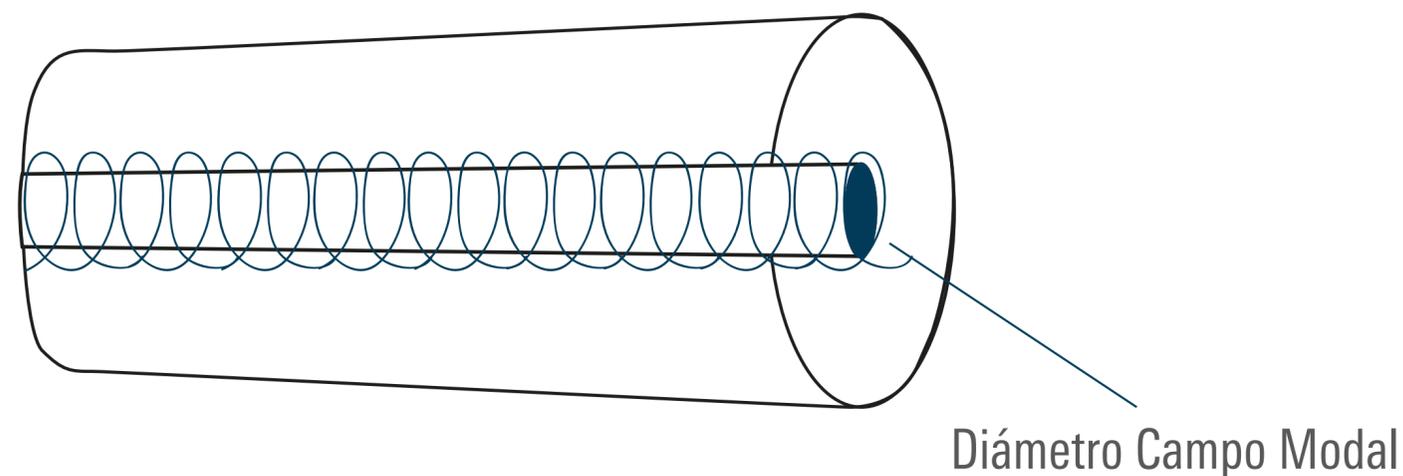
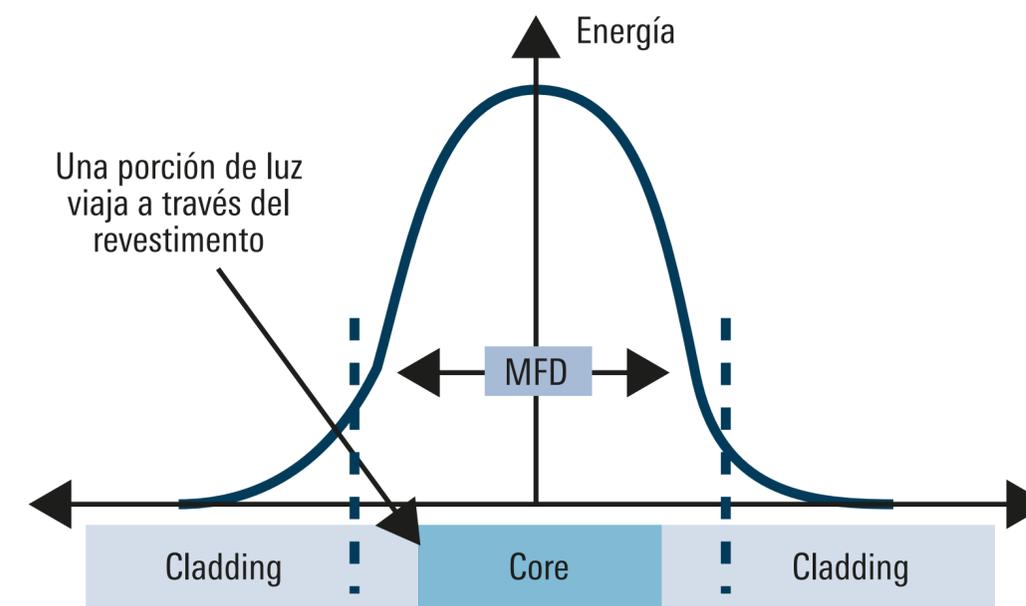
Los factores externos (esfuerzos mecánicos, temperatura, etc.) provocan un PMD variable en el tiempo.

El PMD es causado por esfuerzos mecánicos tales como la vibración eólica en líneas aéreas y los cambio de temperatura.

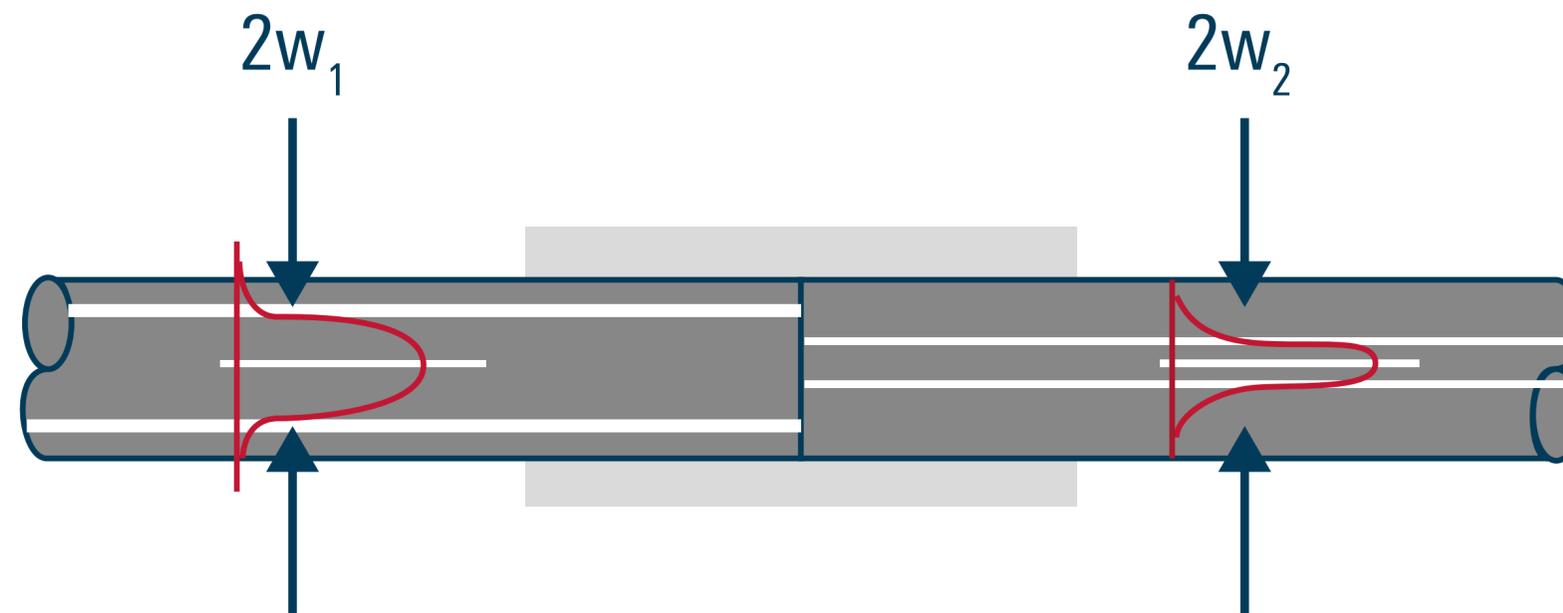
Los factores externos cambiantes (viento, temperatura) resultan en un PMD cambiante en el tiempo.

## Diámetro del campo modal MFD (del inglés Mode Field Diameter):

- El diámetro total que ocupa la luz al viajar por la fibra óptica y el cual es típicamente mayor que el núcleo.
- Para la fibra óptica multimodo, este fenómeno es tan pequeño que prácticamente no altera la compatibilidad entre diferentes tipos de fibra óptica, por lo que no se toma en cuenta, solo se especifica el tamaño del núcleo (62.5/125 o 50/125).
- En la fibra monomodo toma más relevancia incluso con la unión de dos fibras con el mismo tamaño del núcleo.
- El núcleo es un parámetro geométrico, mientras que el MFD es un valor óptico que varía para un mismo tipo de fibra si se modifica la longitud de onda.
- MFD también influye en la atenuación por curvaturas, es decir, entre menor sea el MFD en una fibra óptica, menor pérdida se tendrá al realizar dobleces con un radio de curvatura muy pequeño.



## DESACOPLAMIENTO DEL CAMPO MODAL MFD



$$Loss = 1 - \frac{4}{\left( \frac{w_1}{w_2} + \frac{w_2}{w_1} \right)^2}$$

$$w_1 = 8.8 \mu m$$

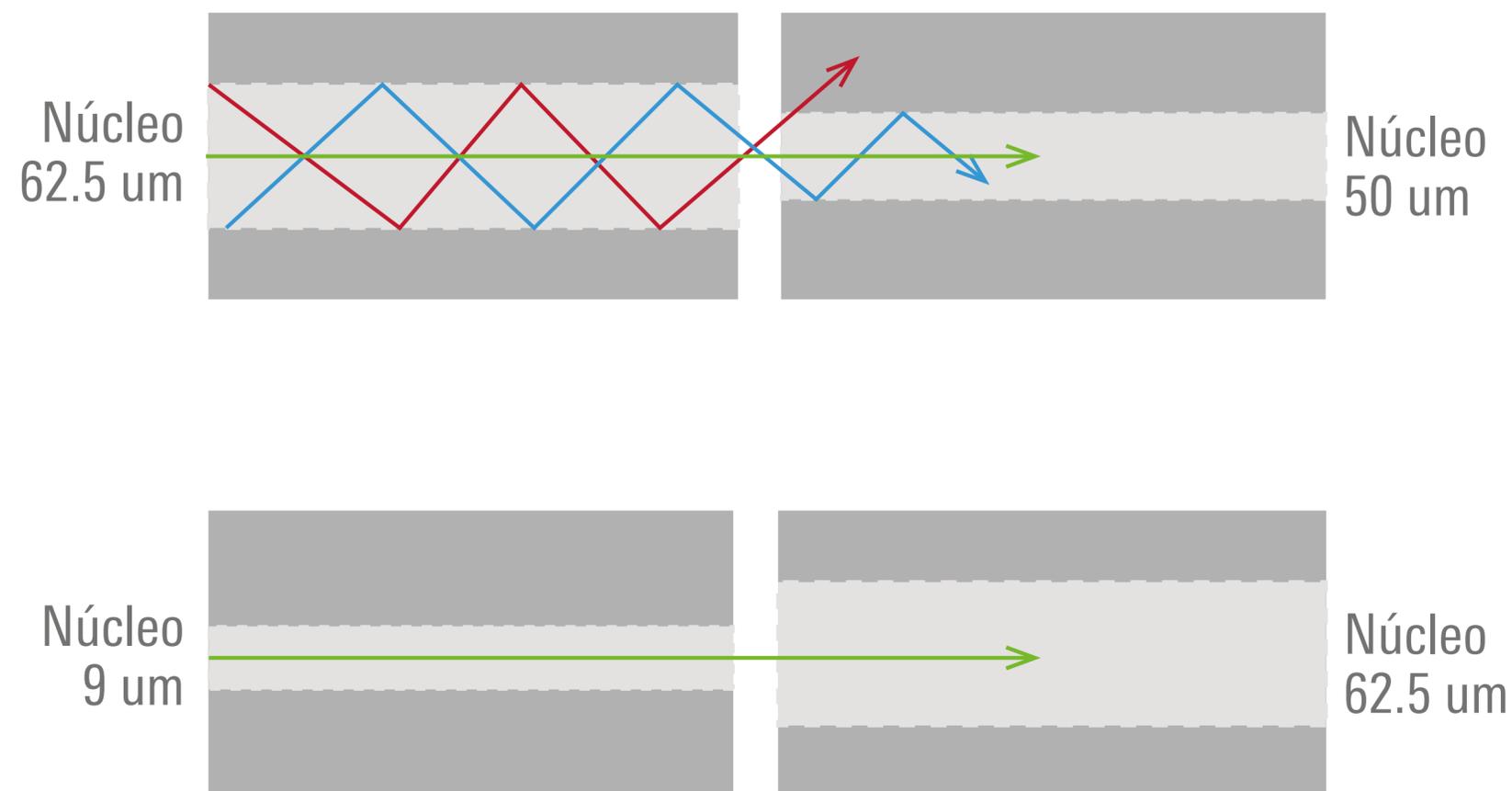
$$w_2 = 9.3 \mu m$$

$$Loss < 0.01 \text{ dB}$$

## NO EMPALMAR O ACOPLAR DIFERENTES TIPOS DE FIBRAS

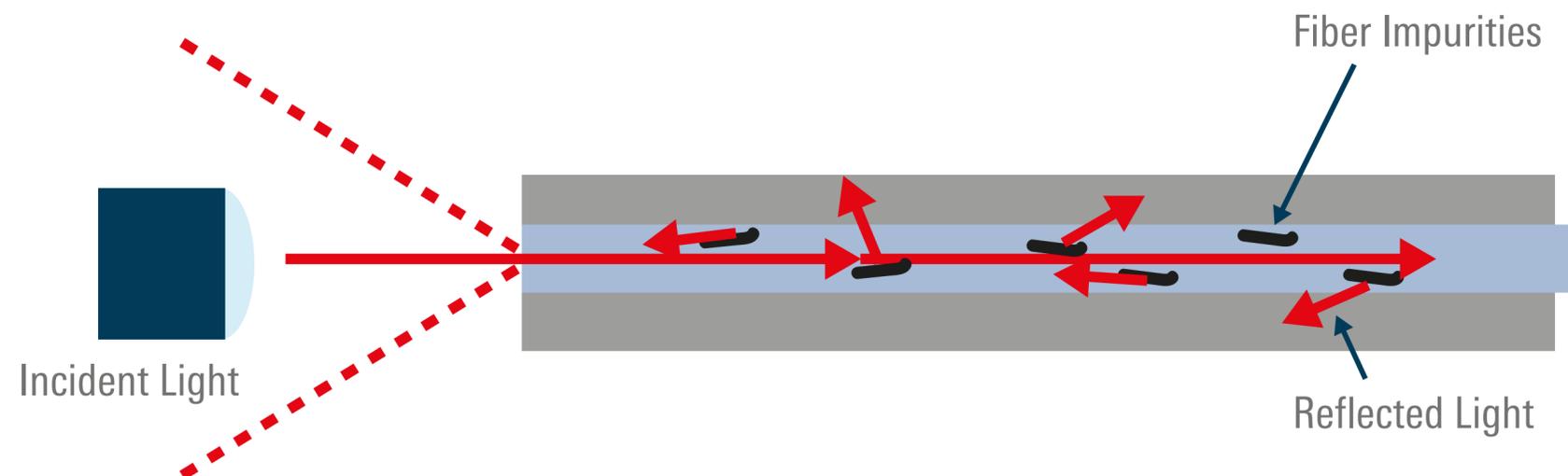
Intentar conectar fibra monomodo con multimodo puede causar una pérdida de 20 dB, eso equivale al 99% de la potencia.

Incluso las conexiones entre fibras de 62.5/125 y 50/125 pueden causar una pérdida importante de 3 dB.



## PÉRDIDAS DE RETORNO (ORL)

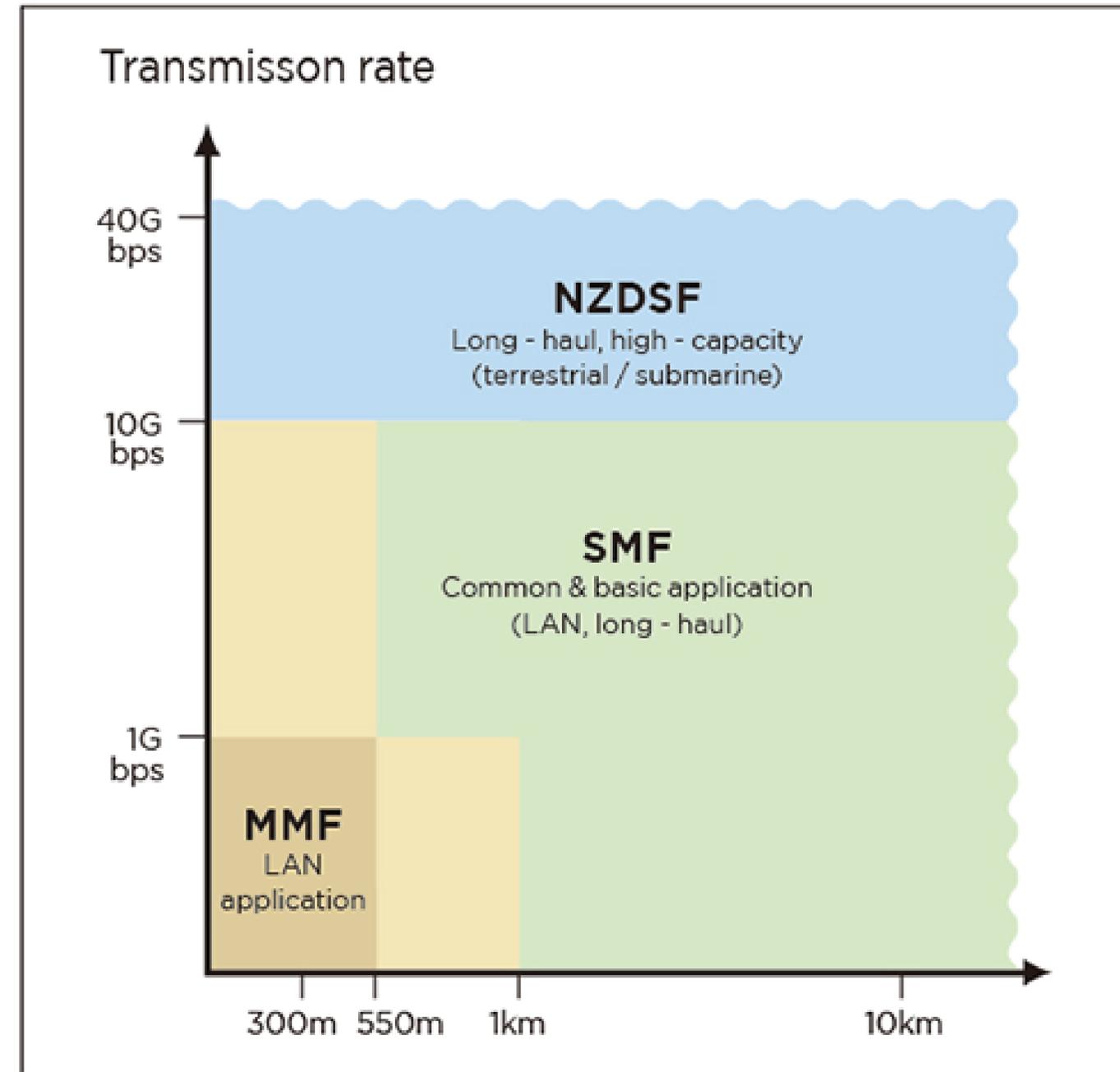
Cuando la luz es inyectada en una fibra óptica, parte de la energía es transmitida, parte es absorbida y parte reflejada, la energía total que regresa al transmisor es llamada ORL.



- Fuertes fluctuaciones en la salida del laser.
  - Potencial daño permanente al transmisor.
  - Interferencia.
  - Distorsión en las señales de video analógico.
  - Alta tasa de error (BER) en sistemas digitales.
  - Depende de la longitud de onda.

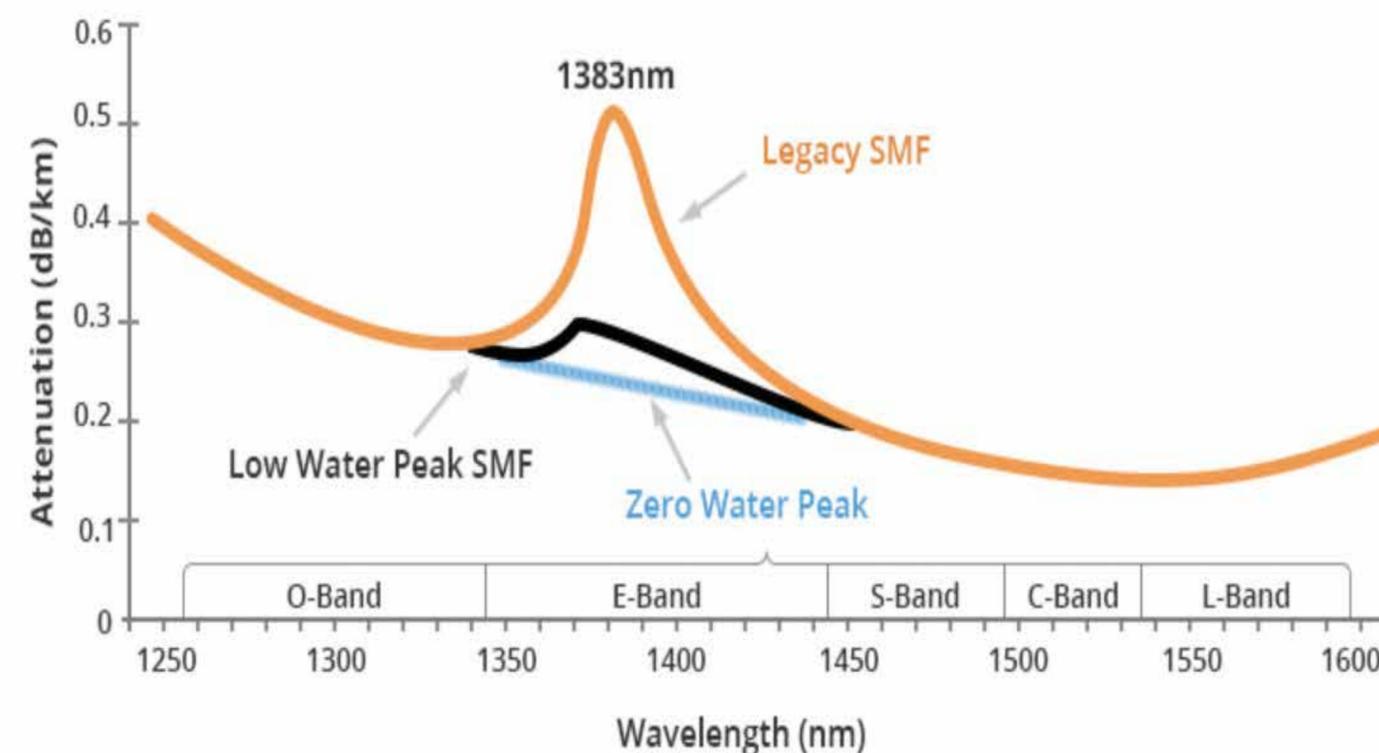
## Fibra óptica monomodo **SMF**

En el caso de las fibras ópticas monomodo, para lograr rendimientos ópticos de acuerdo a distintas aplicaciones, se agregan diversos dopajes en el vidrio (impurezas agregadas controladamente) que conforma la materia prima de la fibra óptica.



## ITU-T G.652

- Se conoce como SMF estándar.  
Es la que se ha instalado más a nivel mundial.
- Tiene cuatro variantes ITU-T G652 A, ITU-T G652 B, ITU-T G652 C y ITU-T G652 D.
- Las principales ventajas de la C y D son mayor capacidad de transmisión por el aumento del ancho de banda al aprovechar la región donde se encontraba wáter-peak.
- Las versiones G.652 B y D tienen la capacidad de alcanzar distancias superiores sin regeneración debido a que tienen menor atenuación por modo de polarización  $0.20 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ .
- G.652D tienen la capacidad de transmitir hasta 3000 km a una velocidad de 10 Gbps y de 80 km a una velocidad de 40Gbps y estas capacidades se pueden mejorar empleando compensadores de dispersión cromática además que en la actualidad los equipos transmisores vienen optimizados para el empleo de este tipo de fibra, adaptándolas así para aplicaciones troncales.



## TABLA COMPARATIVA ITU-T G.652

	ATENUACIÓN (DB/KM)	ATENUACIÓN POR MACROCURVATURAS	DISPERSIÓN DEL MODO DE POLARIZACIÓN (PMD) PS/√(KM)	DIÁMETRO DEL CAMPO MODAL(MFD)	
				Mín (µm)	Máx (µm)
G.652.A	< 0.5/0.4 (1310nm/1550nm)	<0.5 dB en 1550nm.	<0.5	8.6	9.5
G.652.B	< 0.4/0.35/0.4 en 1310nm/1550nm/1625nm	<0.5 dB en 1625nm	<0.2	8.6	9.5
G.652.C	< 0.4 en 1310nm a 1625nm y < 0.3 en 1550nm y 1383nm	<0.5 dB en 1625nm	<0.5	8.6	9.5
G.652.D	< 0.4 en 1310nm a 1625nm y < 0.3 en 1550nm y 1383nm	<0.5 dB en 1625nm	<0.2	8.6	9.5

## FIBRA DESPLAZADA DE DISPERSIÓN NULA:

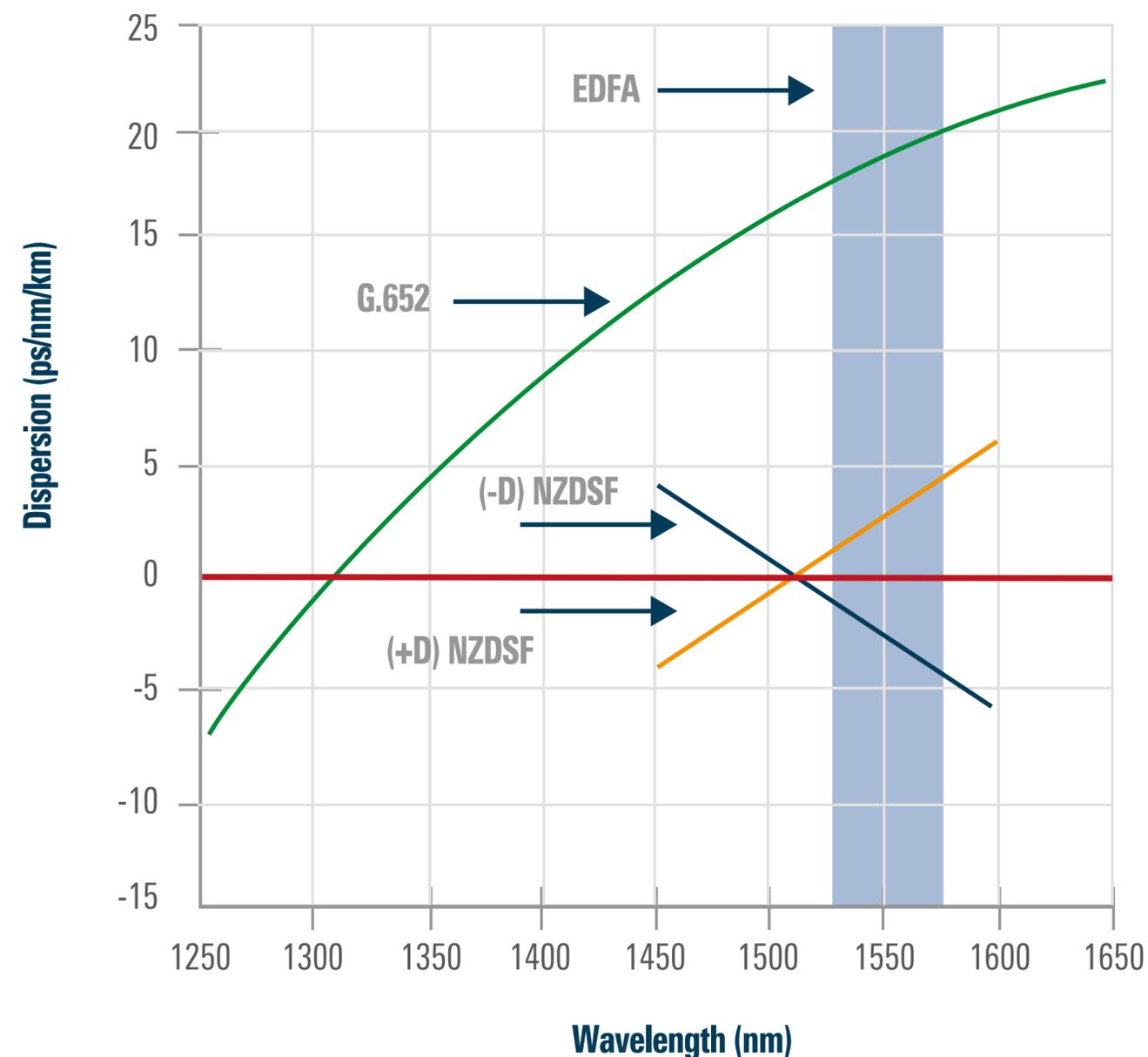
La fibra óptica de dispersión desplazada (Dispersión – Shifted fiber), reconocida en ITU-T G653 es optimizada en 1550nm, en teoría presenta los mejores valores de dispersión y atenuación a 1550nm. En la práctica al tener dispersión cero a la longitud de onda de emisión, se incrementa un fenómeno llamado mezclado de cuatro ondas (FWM), que degrada la transmisión, y dificulta la multiplexación WDM, por lo cual, causa que no sea aplicable a una red troncal de fibra óptica, se basa en transmisores DWDM.

ITU-T G.654, fibra especial monomodo, ha sido optimizada para operar en la región de 1500nm a 1600nm. Esta fibra tiene una baja pérdida en la banda de 1550nm. La baja pérdida se logra mediante el uso de un núcleo de sílice puro, por ello son caras en la fabricación. Estas fibras pueden soportar mayores niveles de potencia y tienen un núcleo más grande (9.5 a 10.5µm). Estas fibras tienen una alta dispersión cromática en 1550 nm (20 a 22 ps/nm\*km). Esta fibra ha sido diseñada para aplicaciones en enlaces submarinos.



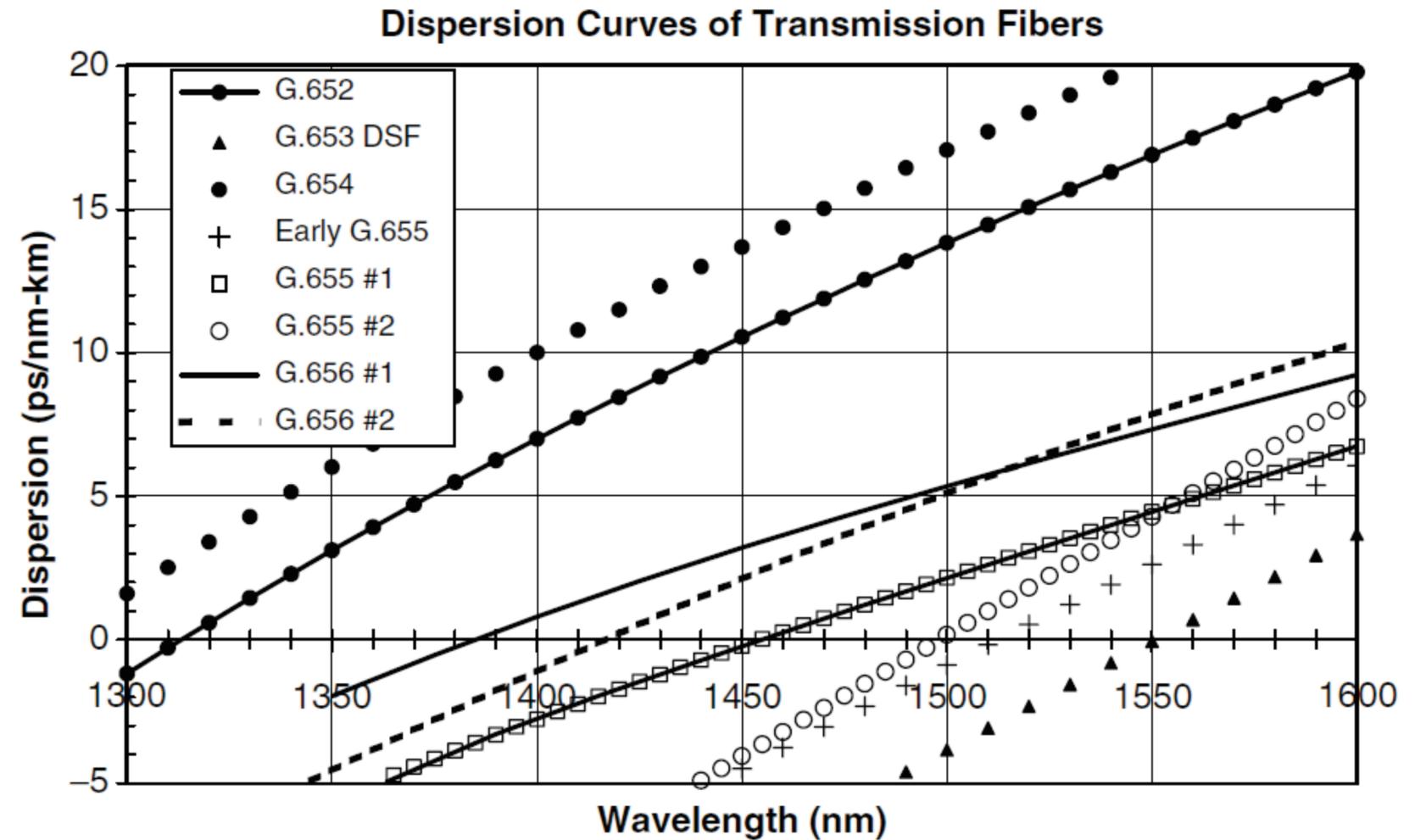
## FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA **CASI NULA**

ITU-T G.655 La fibra de dispersión nula desplazada no nula (NZDSF), optimizada para operar en la banda de 1550nm moviendo la longitud de onda de dispersión cero fuera de la ventana de operación de 1550nm. El efecto práctico de esto es tener una cantidad pequeña pero finita de dispersión cromática en 1550nm, en el caso de la ITU-T G.655 C, para el rango de 1530-1565nm puede llegar hasta (1.0 a 10ps/nm\*KM), lo que minimiza los efectos no lineales como la FWM, SPM y XPM, que se ven en la multiplicación por división de longitud de onda densa (DWDM), este sistema permite la operación de equipos son necesidad de emplear dispositivos compensadores de dispersión, pudiendo ser empleadas enredos troncales.



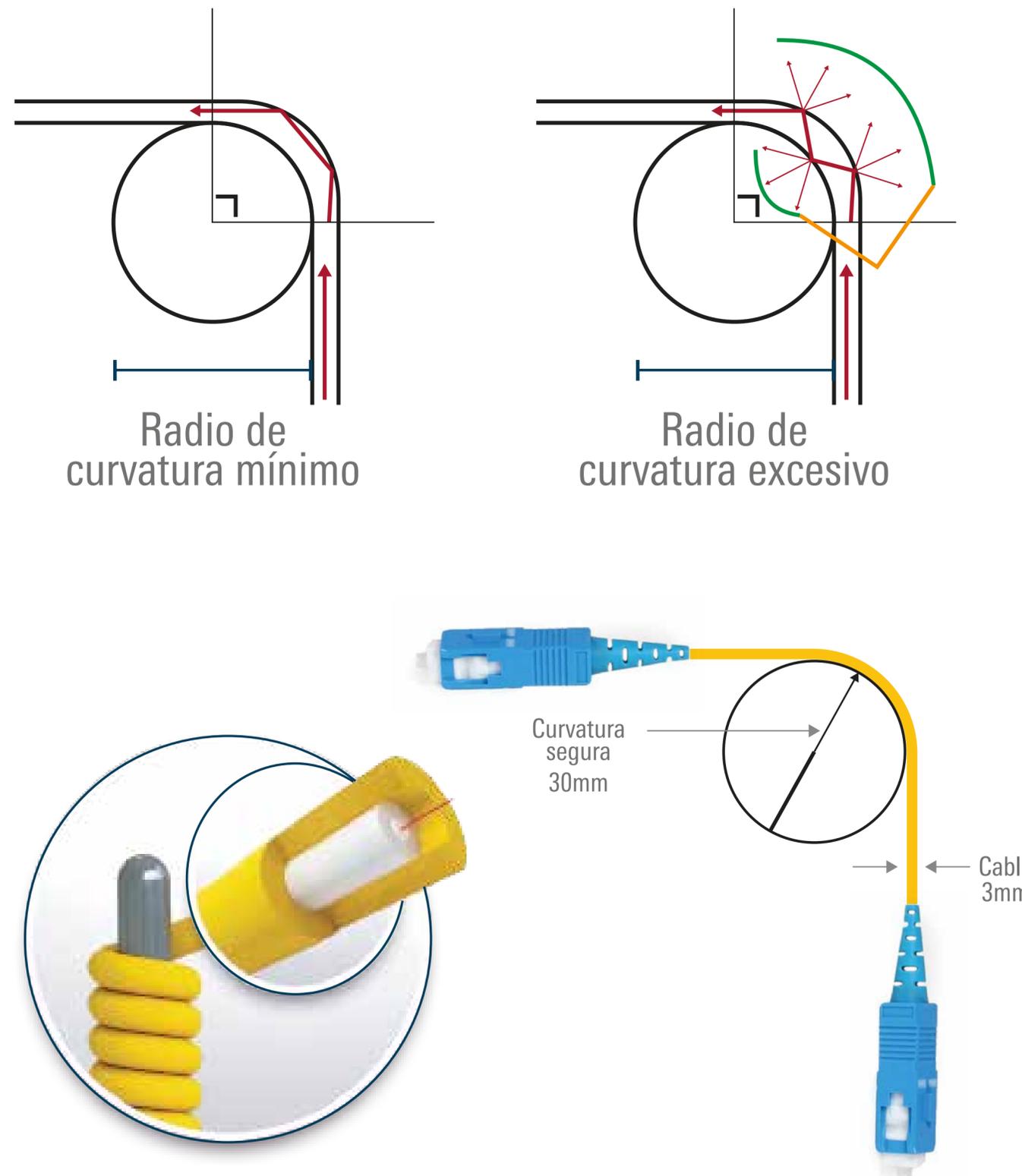
ITU-T G.656 aumento de la capacidad de transporte de datos de una fibra óptica que puede obtenerse mediante la multiplexión por división de longitud de onda, al permitir el funcionamiento simultáneo en más de una longitud de onda 1460-1625nm .

La nueva recomendación de la ITU facilita la instalación de sistemas de multiplexión por división de longitud de onda aproximada (Coarse Wave Division Multiplexing, CWDM) en zonas metropolitanas y aumenta la capacidad de la fibra en los sistemas de multiplexión por división de longitud de onda densa (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM) manejando valores de dispersión cromática desde (1.0 a 14 ps/nm\*km) en las bandas S, C y L.



## FIBRAS INSENSIBLES A CURVAS ITU-T G657

- Las fibras ópticas convencionales tienen afectación antes curvaturas prolongadas por lo que la fibra G.657. Esto significa que se producen niveles más bajos de atenuación debido a las curvaturas.
- La fibra G.657 se divide en dos partes: la categoría A para las redes de acceso y la categoría B para el final de las redes de acceso en entornos con muchas curvas. Tanto la categoría A como la B se dividen en dos subcategorías: G.657.A1 y G.657.A2 para la A, y G.657.B2 y G.657.B3 para la B.
- Se diseño para ser compatible con la fibra G.652, aunque es menos sensible a las torsiones.



## FIBRA MONOMODO INSENSIBLE A CURVAS

ITU-T G657.A1

$R_{min} = 10 \text{ mm}$

ITU-T G657.B2

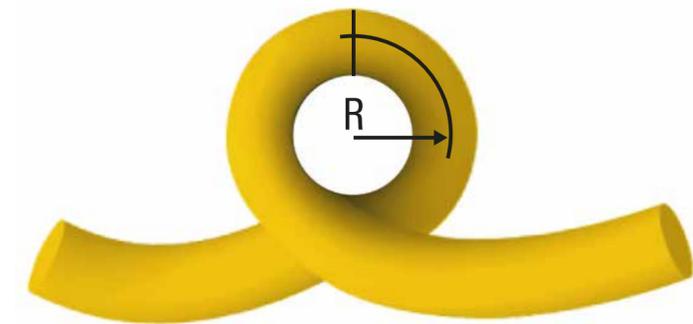
$R_{min} = 7.5 \text{ mm}$

ITU-T G657.A2

$R_{min} = 7.5 \text{ mm}$

ITU-T G657.B3

$R_{min} = 5 \text{ mm}$



G.652	G.653	G.654	G.655	G.656	G.657
Fibra de dispersión cero/de dispersión no desplazada, o SMF estándar.	Fibra óptica con corte desplazado.	Fibra óptica con corte desplazado.	Fibra óptica de dispersión desplazada no nula (NZDSF).	Dispersión no nula para fibra de transporte óptico de banda ancha.	Fibra óptica insensible a la curvaturas para redes de acceso.
1310, 1550, 1625	1310 a 1550	1550	1550 a 1625	1460 to 1625	1260 a 1625
LAN, MAN, redes de acceso y transmisión CWDM.	Sistemas de transmisión monomodo de larga distancia que utilizan amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFA).	Sistemas submarinos de mayor ancho de banda y sistemas de retroceso.	Sistemas submarinos de mayor ancho de banda y sistemas de retroceso.	Sistemas de largo recorrido que utilizan transmisión CWDM y DWDM en el rango de longitud de onda especificado.	Fibra óptica insensible a la curvaturas para redes de acceso.

Las diferentes fibras ópticas monomodo estandarizadas por ITU-T se incluyen la G.652, G.653, G.654, G.655, G.656 y la G.657, donde cada una de estas se utiliza en un ámbito de aplicación diferente, donde cada especificación de fibra óptica refleja la evolución de la tecnología del sistema de transmisión

desde la primera instalación de fibra óptica monomodo hasta hoy en día, donde la correcta selección radicará en la aplicación en la cual se va emplear desde un punto de vista del rendimiento principalmente, costo, seguridad y limitantes de cada tipo de fibra.



# Consultécnico

ASESORÍA TÉCNICA ONLINE

# Mediciones en Redes **GPON**



**12 de octubre**

**Colaboración Especial**

**Fernando Rodríguez**

Ing. de infraestructura de redes

**optronics**

**optronics®**





# GRACIAS

---

EL ENTRENAMIENTO AÚN NO TERMINA,  
**SIGUE ESFORZANDOTE PARA SER UN CAMPEÓN**

 @OptronicsMX

 @OptronicsMX

 Optronics

**optronics**® ES UNA EMPRESA DE **Splitel**®  
GRUPO