



Módulo I

Componentes Ópticos y sus Características Técnicas.

Lección N° 2

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com

Módulo I.

Componentes Ópticos y sus Características Técnicas

Elementos
Ópticos
Vinculantes

Fibra Óptica



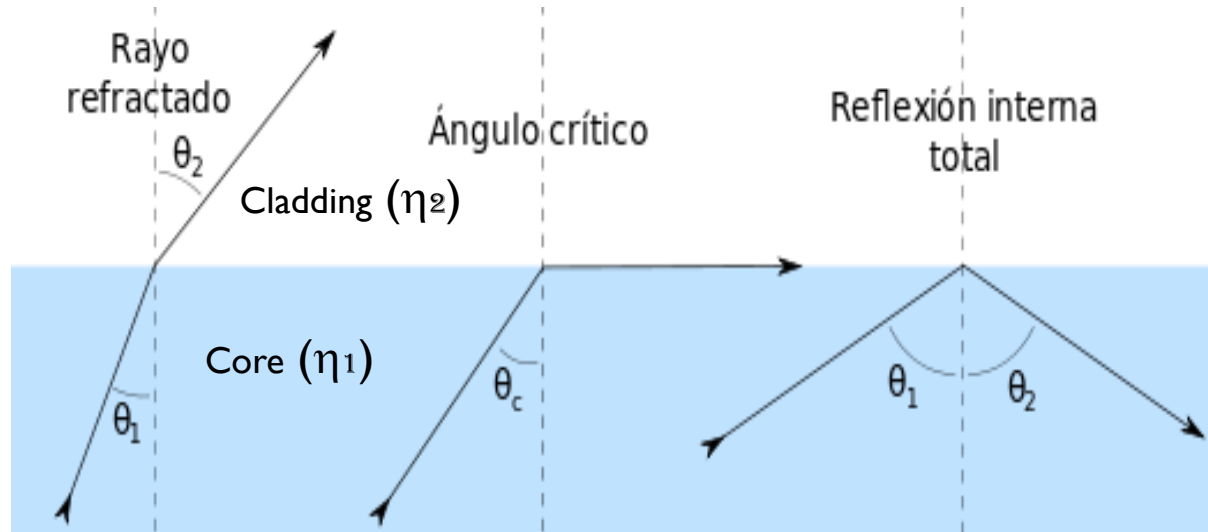
DOTCOM
FORMACIÓN

COMPONENTES DE LA FIBRA ÓPTICA

- Tiene dos componentes elementales. El núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) posee un alto índice de refracción n_1 , rodeado del cladding con un índice de refracción ligeramente menor n_2 .

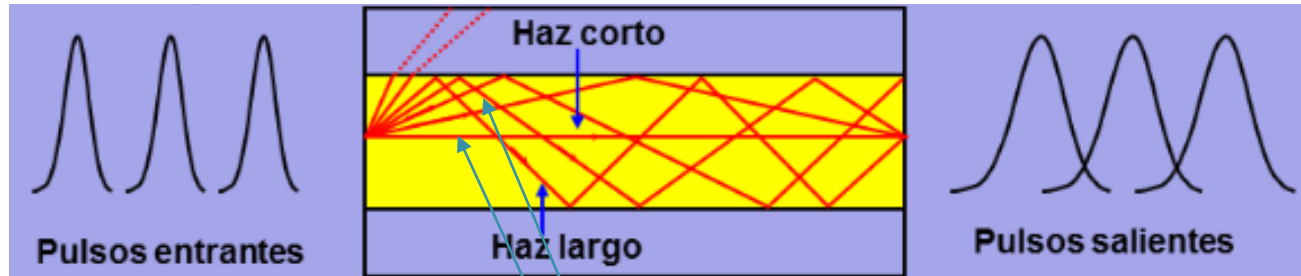


REFLEXIÓN INTERNA TOTAL



$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right),$$

REFLEXIÓN INTERNA TOTAL



✓ Coeficiente V :

$$V = \frac{2\Pi}{\lambda} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

a = Radio Core

η_1 = Índice refracción Core

η_2 = Índice refracción Cladding

λ = Longitud onda transitando x FO.

✓ Empíricamente:

$V > 2.405$ mas de un modo de propagación

$V < 2.405$ un modo de propagación

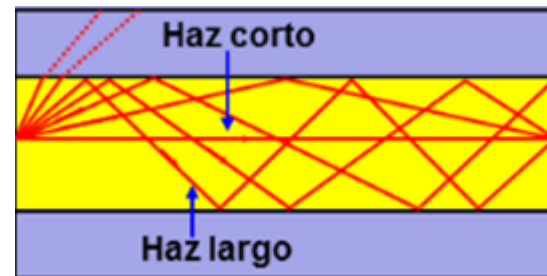
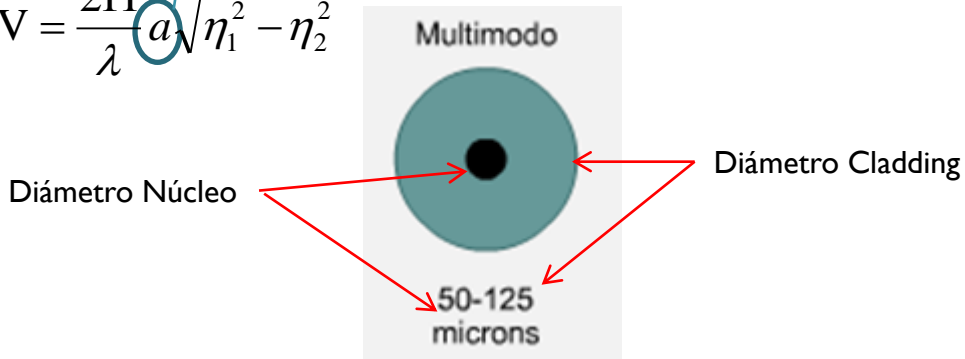
$$\lambda_c = \frac{2\Pi}{\sim 2.405} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

Propagación en la Fibra Óptica

- **Fibras Multimodo – MMF (Multi Mode Fiber).**

Son aquellas que, por su proceso de fabricación mas económico con un diámetro del núcleo de 50 μm (valor alto $\rightarrow V > 2.405$), la propagación en el medio óptico se realiza en "varios modos", lo que significa una importante limitación a la hora del distancia máxima del enlace.

$$V = \frac{2\Pi}{\lambda} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

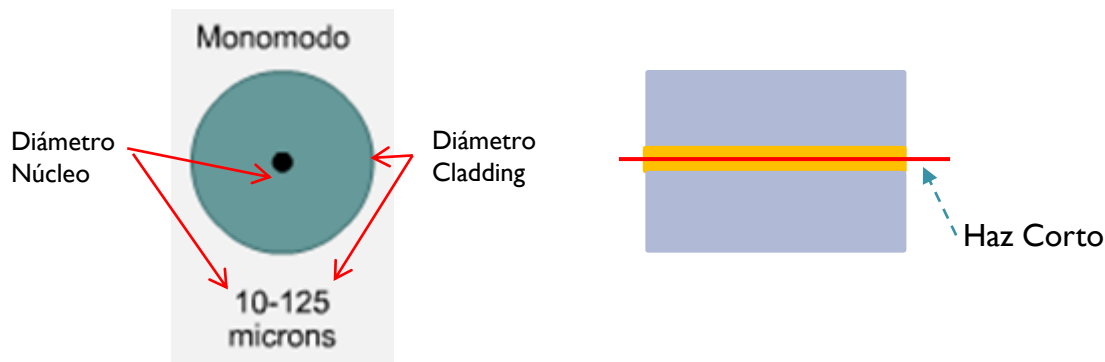


- Rec. ITU-T 651.1

Propagación en la Fibra Óptica

- **Fibras Monomodo – SMF (Single Mode Fiber)**

Son aquellas fibras estandarizadas por el ITU-T como Fibras single mode o monomodo – SMF – que, por su proceso de fabricación con un diámetro del núcleo del orden de 10 μm , pueden lograr "un solo modo de propagación" en el medio óptico siempre y cuando la longitud de onda de operación del diodo emisor este por encima de la longitud de corte (λ_c).

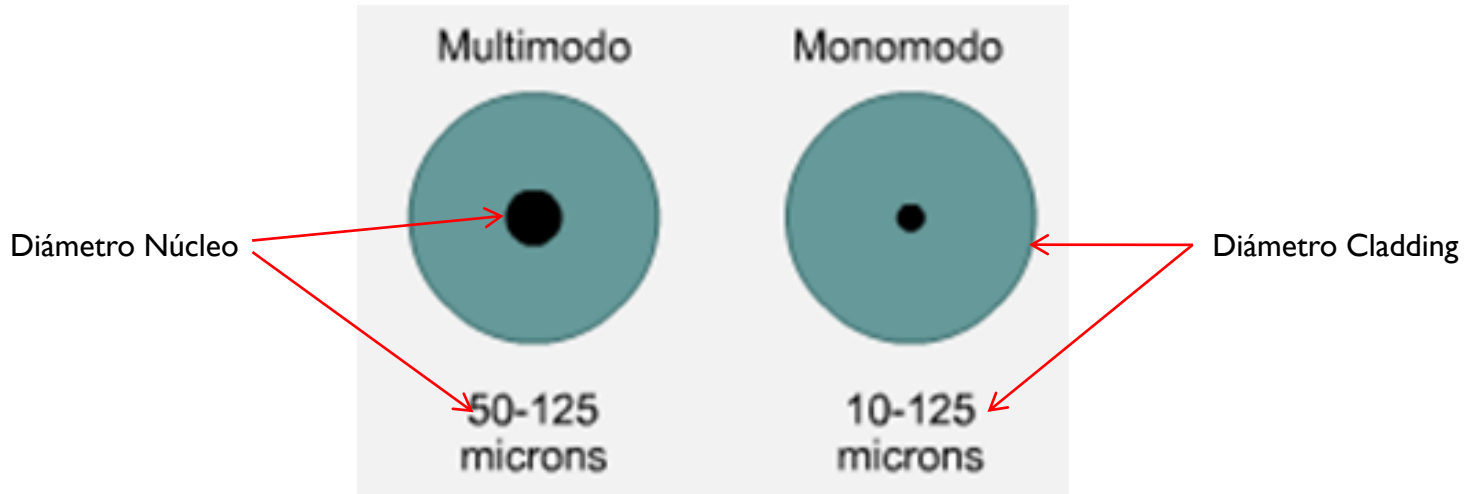


$$\lambda = \frac{2\Pi}{\leq 2.405} a \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

- Rec. ITU-T 652
- Rec. ITU-T 653
- Rec. ITU-T 655

Propagación en la Fibra Óptica

- **Comparativa Física MMF vs SMF**



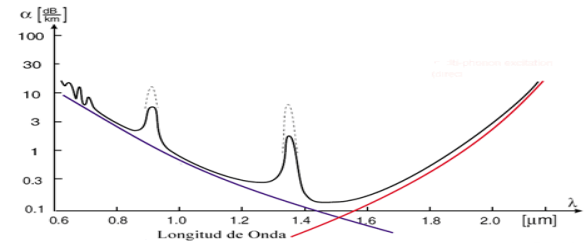
EFECTOS FISICOS EN LA FIBRA

- Encaminada la energía dentro del núcleo, existen dos grandes efectos que afectan a la máxima distancia que la información en una señal óptica pueda alcanzar.



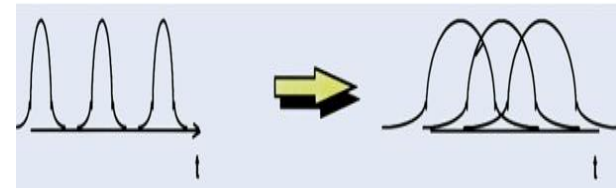
- **Atenuación:**

Relacionada a la pérdida de potencia lumínica con la distancia.



- **Dispersión:**

Relacionado con el ensanchamiento del pulso lumínico con la distancia.



ATENUACIÓN

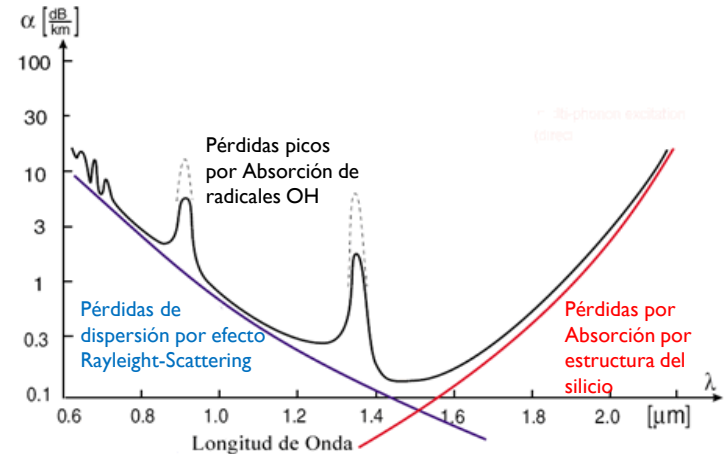
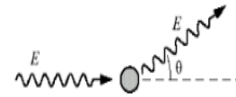
- **Factores intrínsecos:**

- ***Esparcimiento de luz (Rayleigh Scattering):***

Son debidas a pequeñas variaciones en la densidad del vidrio (mas pequeñas que la longitud de la onda) que hacen desviar el haz de luz y es función de la frecuencia de la señal (frecuencia portadora).

- ***Absorción de luz:***

Son debidas a la estructura del silicio y a impurezas en el proceso de fabricación. La impureza mas común son partículas de agua.



ATENUACIÓN

- **Factores extrínsecos:**

- ***En la fabricación:***

Stress en el proceso de fabricación del cable de fibra.

- ***En el tendido:***

Stress en el proceso de tendido dentro del edificio o en la vía pública.

- ***En el mantenimiento:***

Los cortes producidos por obras civiles en la vía pública, “estiramiento” en la fibra con fusiones adicionales que aumentan la atenuación original.

ATENUACIÓN y VENTANAS DE TRABAJO

- **Unidad de Medida Atenuación:**

El coeficiente de atenuación de una fibra óptica se da en **dB/Km** recorridos de la luz y ***es función de la frecuencia de operación.***

- **Ventanas de Trabajo:**

- **1° Ventana**

- 850 nm @ 2,5 db/km(*)

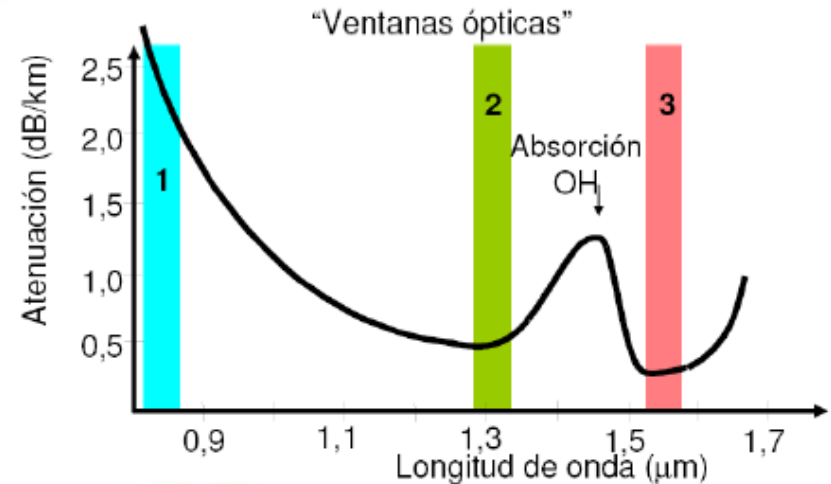
- **2° Ventana**

- 1310 nm @ 0,35 db/km(*)

- **3° ventana**

- 1550 nm @ 0,22 db/km(*)

(*) Dato del fabricante de fibra



CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA

IPEI

Instituto Profesional de
Estudios e Investigación

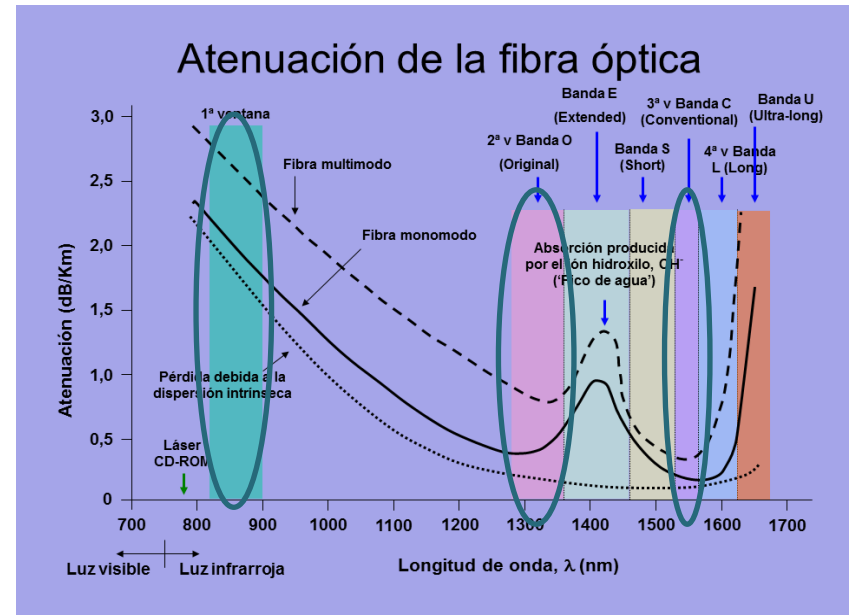
DOTCOM
FORMACIÓN

ATENUACIÓN – VENTANAS Y BANDAS

- Dentro de cada “Ventana”, a medida que se mejoran las fibras en su proceso de fabricación, se habilitan distintas “Bandas” dentro de cada ventana como se muestra a continuación:
- Las atenuaciones entre las distintas fibras monomodo estandarizadas no varían en demasía entre una y otro tipo.
 - Rec. ITU-T 652
 - Rec. ITU-T 653
 - Rec. ITU-T 655



Ventanas / Bandas de interfaces Blanco y Negro o Grises



DISPERSIÓN

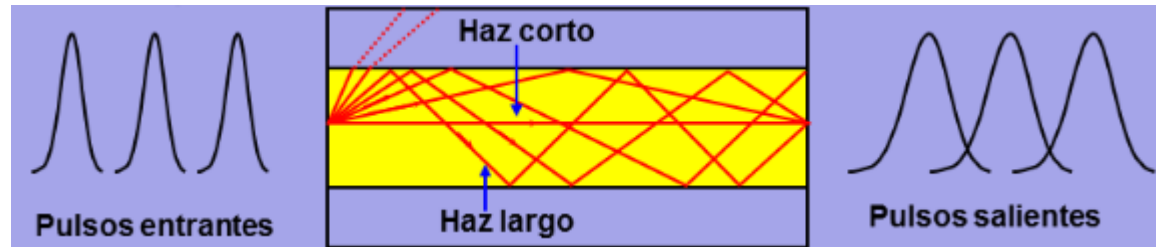
- Hay distintos efectos de dispersión pero todos afectan de igual manera: **ensanchamiento del pulso de información.**
- Los tipos de Dispersión son los siguientes:
 - *Dispersión Modal (MD – Modal Dispersion)*
 - *Dispersión Cromática (CD – Chromatic Dispersion)*
 - *Dispersión de Modo de Polarización (PMD – Polarization Mode Dispersion)*

DISPERSIÓN MODAL

- **Dispersión Modal:**

- Es un efecto **no deseado**, **lineal** e **invariante en el tiempo** y se evidencia mas a medida que aumenta la velocidad de la información ***en las fibras multimodo*** (área de núcleo grande) que permiten varios modos de propagación.
- En las fibra **monomodo** este efecto se evidencia por **debajo** de la longitud de onda de corte (λ_c).

DISPERSIÓN MODAL



- **Unidad de Medida:**

- El parámetro que la define es el **Ancho de Banda Modal** (Modal Bandwidth) y su unidad es **[MHz*Km]**
- En cálculos aproximados, se puede establecer que una señal binaria de 1,25Gb/s (1GEth) equivale a 1,25 GHz

$$MD \equiv 500[\text{MHz} * \text{Km}] (*) \quad \rightarrow \quad L[\text{Km}] \equiv \frac{500[\text{MHz} * \text{Km}]}{1250[\text{MHz}]} \equiv 0.4\text{Km}$$

(*)Dato fabricante de fibra

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- **Dispersión Cromática:**

- Es un efecto **no deseado** e **invariante en el tiempo**.
- El elemento distintivo entre las fibras monomodo especificadas por el ITU-T es la Dispersión Cromática (CD).
 - Rec. ITU-T 652
 - Rec. ITU-T 653
 - Rec. ITU-T 655
- Existen dos mecanismos físicos que producen la dispersión cromática:
 - Dispersión del material
 - Dispersión por guía de onda

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- **Dispersión Cromática – Dispersión del material:**

- El índice de refracción no solo es dependiente del material sino también de la longitud de onda.
- El índice de refracción mostrado al inicio es un valor medio en el rango de longitudes de onda que se tratan.
- Por esto, una misma fibra óptica presenta **distintos valores de índice de refracción en función de la longitud de onda** ralentizando las longitudes mayores como puede verse en la siguiente tabla.

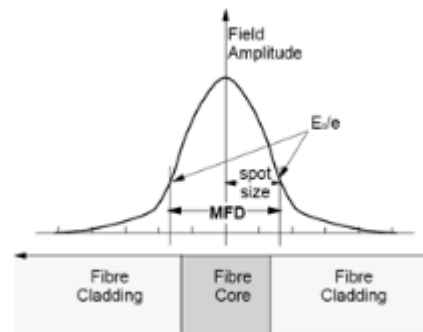
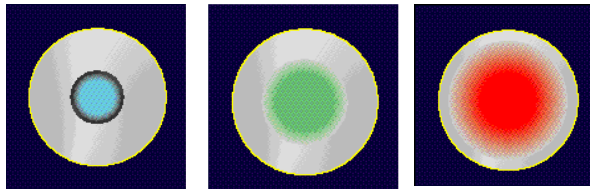
λ (nm)	Índice de refracción	Velocidad de la luz (Km/s)
1310	1,4677	204.260
1550	1,4682	204.190

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- **Dispersión Cromática – Dispersión guía de onda:**

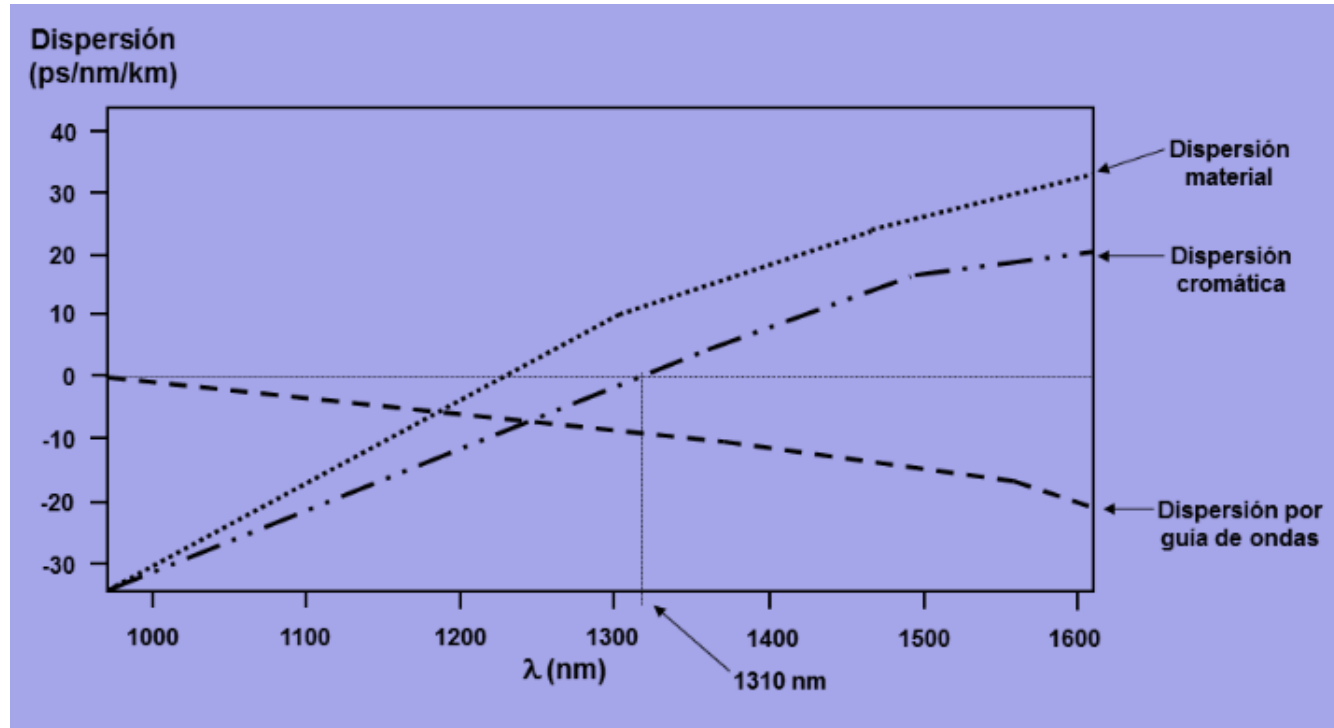
Como ya hemos visto, la propagación en una fibra monomodo viaja por la cubierta del núcleo **y la proporción de lo que viaja** crece conforme al aumento de la longitud de onda.

Pero la cubierta tiene un índice de refracción menor (cladding) por lo cual viaja mas rápido las longitudes de onda mayores (al contrario de la dispersión de material).



λ (nm)	Diámetro utilizado por la luz (núcleo de 8,2 μm)
1310	9,2 μm
1550	10,4 μm

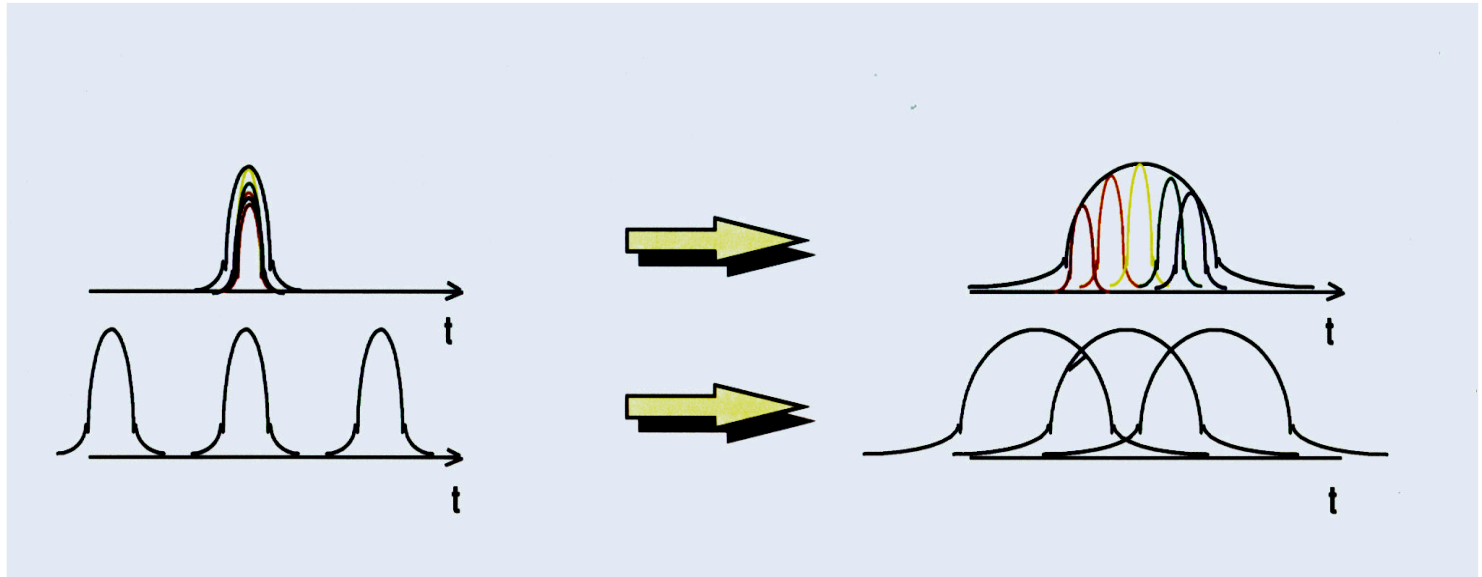
DISPERSIÓN CROMÁTICA



Ejemplo de componentes de Dispersión Cromática para una fibra monomodo estándar G.652

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- Si uno quisiera ver el efecto de la dispersión en el dominio del tiempo..



DISPERSIÓN CROMÁTICA

- El ITU-T establece el método de cálculo en cada tipo de fibra a partir de valores máximos y mínimos en cada banda de operación y el punto de cruce en frecuencia cuya dispersión cromática es nula.

- **Unidad de Medida:**

La unidad del coeficiente de la dispersión cromática de la fibra es **ps/(nm*km)** que indica que un pulso de un diodo con una anchura espectral de un nanómetro se ensancha por XX picosegundo por cada kilómetro que viaja.

DISPERSIÓN CROMÁTICA

Fuente de luz

- La señal emitida por un diodo laser, no es una sola componente espectral, (ancho espectral entre 0,5 y 5nm).

Información

- La señal lumínica es modulada por la información con lo cual aumenta el ancho espectral resultante.

Medio – Fibra Óptica

- las distintas longitudes de onda viajan en el medio a una velocidad distinta cada una lo que se conoce como retardo de grupo.

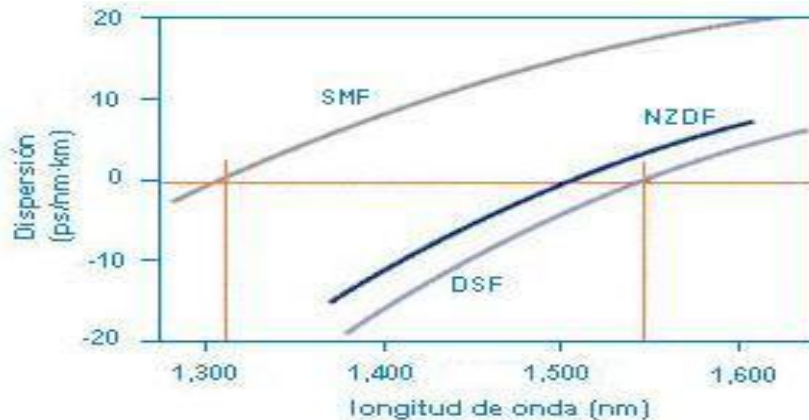
Resultado

- Retardo de grupo del espectro transmitido que produce el ensanchamiento del pulso de la información.

DISPERSIÓN CROMÁTICA

	ITU-T G.652 (SMF)	ITU-T G.653 (DSF)	ITU-T G.655 (NZDF)
2° ventana @1310nm	~ -0,65 [ps/nm*Km]	~ -16,4 [ps/nm*Km]	(1)
3° ventana Banda C @1550nm	~ +16,0 [ps/nm*Km]	~ +0,45 [ps/nm*Km]	~ +4,5 [ps/nm*Km]
3° ventana Banda L @1625nm	~ +20,4 [ps/nm*Km]	~ +4,45 [ps/nm*Km]	~ +8,5 [ps/nm*Km]

(1) Esta fibra presenta $\lambda_c > 1310\text{nm}$



CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

DOTCOM
FORMACIÓN



BREAK !!!

DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- **Dispersión Modo de Polarización:**

- Es un efecto **no deseado, estadístico** (no determinístico), y **variable con el tiempo.**
- Es una propiedad de la fibra fuertemente dependiente del proceso de fabricación. Todas las fibras monomodo recomendadas por el ITU-T presentan un valor máximo similar (dependiente de la antigüedad de fabricación de la fibra).
- La afectación en la fibra se da con transmisión de flujos de información a partir de los 10 Gb/s.

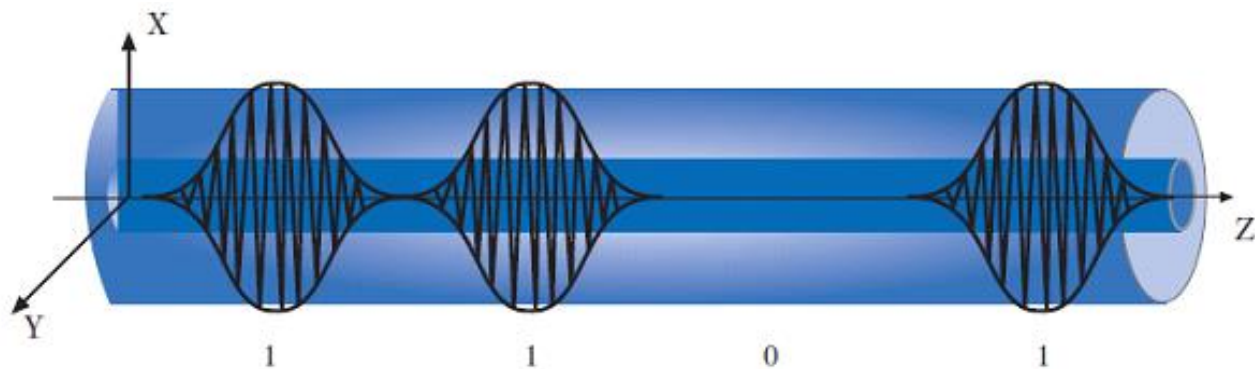
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

El PMD es causada por la no-circularidad de la FO y su origen puede separarse en tres factores básicos:

- **En la fabricación:** Incluyen el stress en el proceso de fabricación de la fibra, con el “estiramiento” físico al alojarse en un rollo.
- **En el tendido:** Incluyen el stress en el proceso de tendido dentro del edificio o en la vía pública. afectando principalmente el “estiramiento” sufrido por el cable en el tendido y las curvas.
- **En el mantenimiento:** Los cortes producidos por obras civiles en la vía pública, generan un stress por “estiramiento” en la fibra que deforman la circularidad original de la fibra.

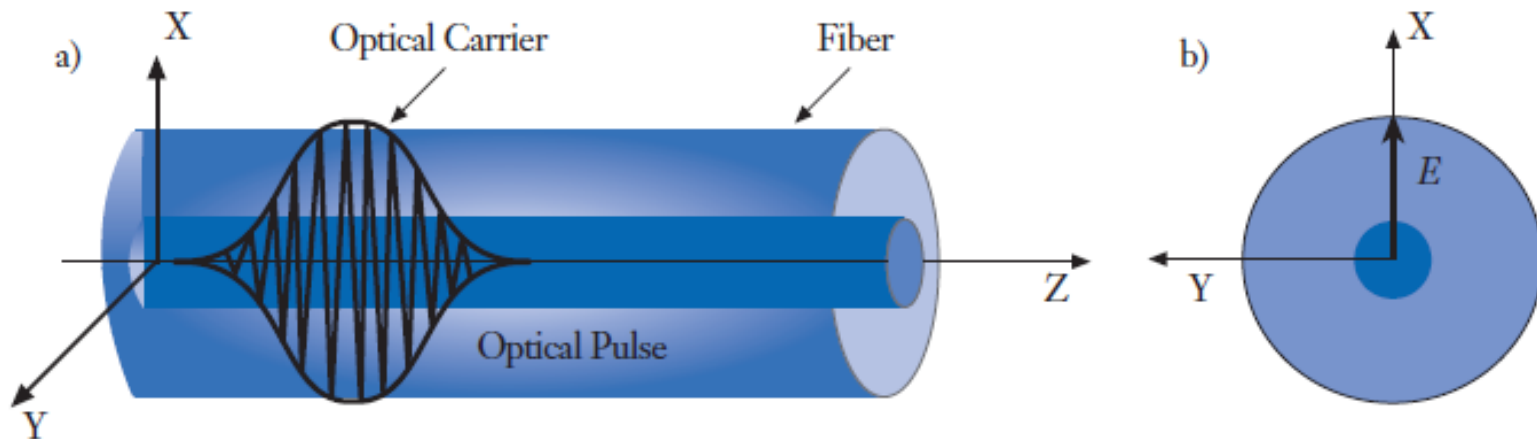
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Para entender el mecanismo, en la figura siguiente se trata de mostrar el viaje de la señal en el espacio-tiempo dentro de una fibra.



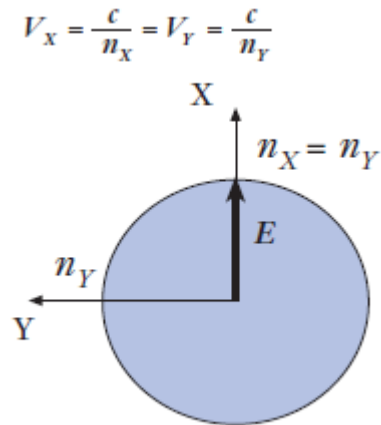
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Las señales electromagnéticas están caracterizadas por la polarización definida por la dirección del campo eléctrico E . En el ejemplo siguiente se muestra sobre el eje X .



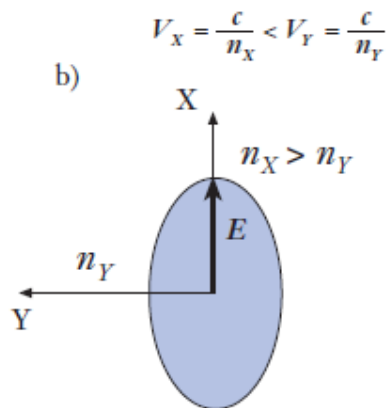
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Como habíamos dicho anteriormente, la velocidad de propagación es dependiente del índice de refracción del medio. En el caso de una exacta simetría en la circularidad de la fibra, la velocidad de la luz no dependería de la polarización ya que la señal ve un índice de refracción independiente de si va polarizada sobre X o Y.



DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

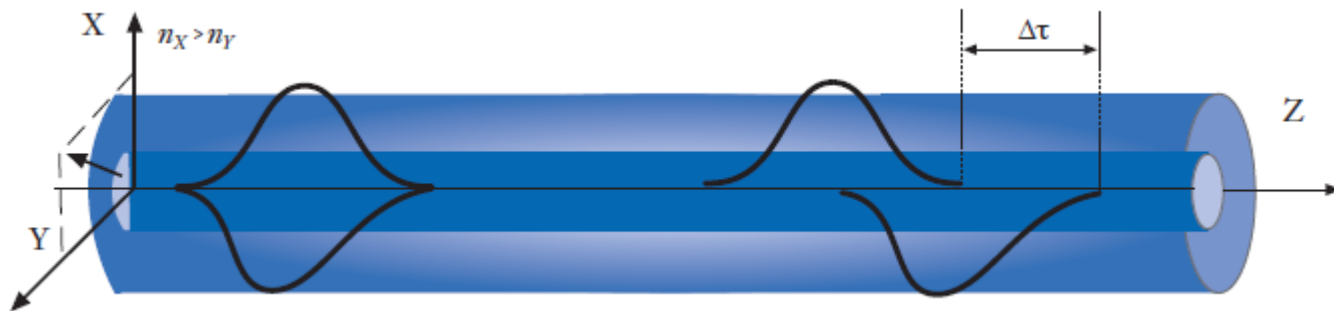
- Por el contrario si la fibra no presenta una simetría en la circularidad de la fibra (tipo elipse).....



- A este efecto de propagar en diferente velocidad sobre un eje u otro se lo conoce como birrefringencia.

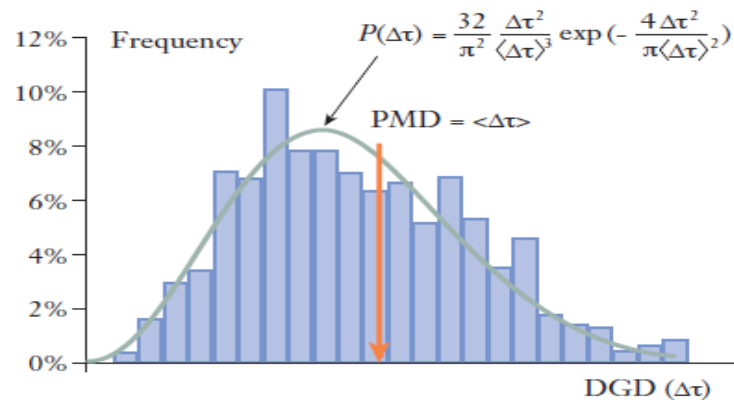
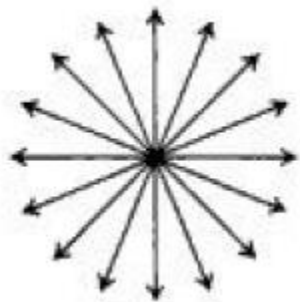
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Para el ejemplo, la birrefringencia sobre la fibra óptica, hace enlentecer la señal cuando es polarizada sobre el eje X que ve un índice de refracción mayor y causa un retardo de grupo diferencial (DGD- Differential Group Delay).



DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Si uno mide el DGD instantáneo de una determinada longitud de fibra, observaría un valor de DGD aleatoriamente (random por la polarización que toma la luz). Haciendo un histograma podría aproximarse a una distribución de probabilidad de Maxwell. Esta distribución tiene un valor medio llamado DGD promedio o Δt .



DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- **Unidad de Medida.**

Expresa la variación temporal media de los campos componentes de una señal electromagnética en función de la raíz de Km recorridos.

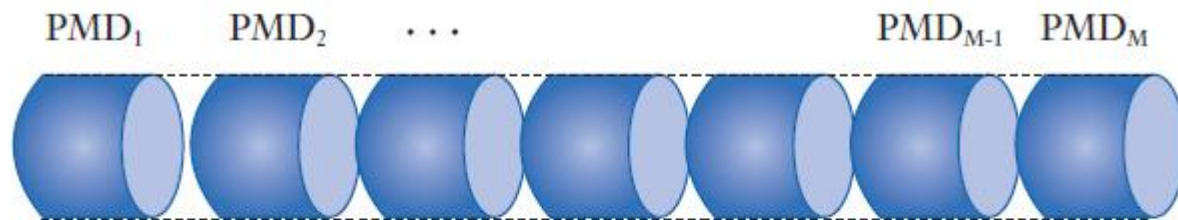
$$PMD_{\text{medio}} = \left[\frac{pseg}{\sqrt{Km}} \right]$$

A partir del PMD medio, en función de los Km recorrido de la señal por la fibra óptica se obtiene el coeficiente de DGD medio que afecta al canal de información.

$$DGD_{\text{medio}}[ps] = PMD_{\text{medio}} \left[\frac{ps}{\sqrt{Km}} \right] * \sqrt{\text{Long}[Km]}$$

DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Si se tiene varias secciones iguales de fibra óptica con distinto PMD que conforman un Link



$$PMD_{LINK}(M) = \frac{1}{M^{1/2}} \times [PMD_1^2 + PMD_2^2 + \dots + PMD_M^2]^{1/2}$$

$$DGD_{medio}[ps] = \sqrt{\sum [DGD_n[ps]]^2}$$



Fin Módulo I

Ing. Daniel Torradella
formacion.dotcom@gmail.com