



Módulo II

Efectos Físicos sobre el Medio de Transmisión

Lección N° 3

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com

Módulo II

Componentes y
reflexión en el
medio

Atenuación

Dispersión Modal

Dispersión
Cromática

Dispersión Modo
de Polarización

Tipos de Fibras
Ópticas

DISPERSIÓN MODAL

- **Dispersión Modal:**

Es un efecto **no deseado lineal, no compensable e invariante en el tiempo.**

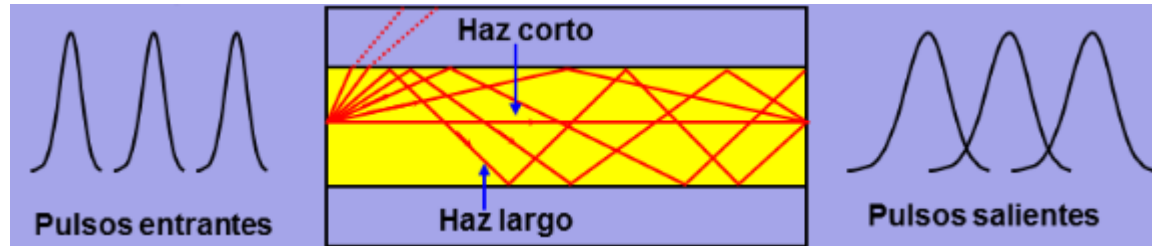
Como se detalló anteriormente, este efecto ***se evidencia en las fibras multimodo*** (área de núcleo grande) que permiten varios modos de propagación.

En las fibra **monomodo este efecto es despreciable** para longitudes de onda por encima de la de corte (λ_c).

El efecto producido es el ensanchamiento del pulso y es directamente proporcional a la distancia y la frecuencia de la señal moduladora (información).

El parámetro que la define es el **Ancho de Banda Modal** (Modal Bandwidth) y su unidad es **[MHz*Km]**

DISPERSIÓN MODAL



- En cálculos aproximados, se puede establecer que una señal binaria de 1,25Gb/s (1GEth) equivale a 1,25 GHz
- Una fibra que por ejemplo limita Ancho de Banda Modal a 500 MHz*Km, significa que la señal de 1,25GHz (1250 MHz) estará circunscripta a un alcance máximo de 0,4 Km.

$$L[Km] \equiv \frac{500[Mhz * Km]}{1250[Mhz]} \equiv 0.4Km$$

Módulo II

Componentes y
reflexión en el
medio

Atenuación

Dispersión Modal

Dispersión
Cromática

Dispersión Modo
de Polarización

Tipos de Fibras
Ópticas

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- **Dispersión Cromática:**

Es un efecto **no deseado lineal**, **compensable** e **invariante en el tiempo**

En las ***fibras multimodo*** el efecto de la dispersión cromática es ***despreciable*** frente a la dispersión modal.

En cambio en las ***fibras monomodo***, el efecto de la dispersión cromática es ***determinante*** si un enlace puede ó no funcionar sin errores por ISI.

Como verse en el material anexo, las distintas variante de fibra monomodo especificadas por el ITU-T establecen distintas métodos de calculo para cada una de ellas y brindan distintos valores de DC en cada banda de frecuencia de operación.

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- La luz emitida por un diodo laser, no es una sola componente espectral, sino que tiene un rango de frecuencia emitidas (ancho espectral) que puede variar entre 0,5 y 5nm (depende del diodo emisor).
- Por otro lado en la 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 con lo cual terminan produciendo el ensanchamiento del pulso.

Este retardo de grupo se produce por dos efectos a saber:

- Dispersión del material
- Dispersión por guía de onda

DISPERSIÓN CROMÁTICA

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

La dispersión del material se debe en este caso a la fibra óptica.

El índice de refracción que afecta la velocidad de propagación de la señal no solo es dependiente del material sino también de la longitud de onda.

En el módulo anterior se dio un valor de índice de refracción del vidrio ó fibra óptica, siendo este un valor medio en el rango de longitudes de onda que se despliegan los sistemas ópticos.

Sin embargo, 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.

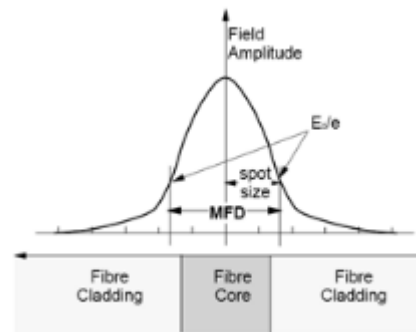
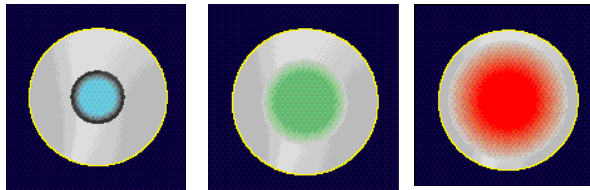
λ (nm)	Índice de refracción	Velocidad de la luz (Km/s)
1310	1,4677	204.260
1550	1,4682	204.190

DISPERSIÓN CROMÁTICA

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

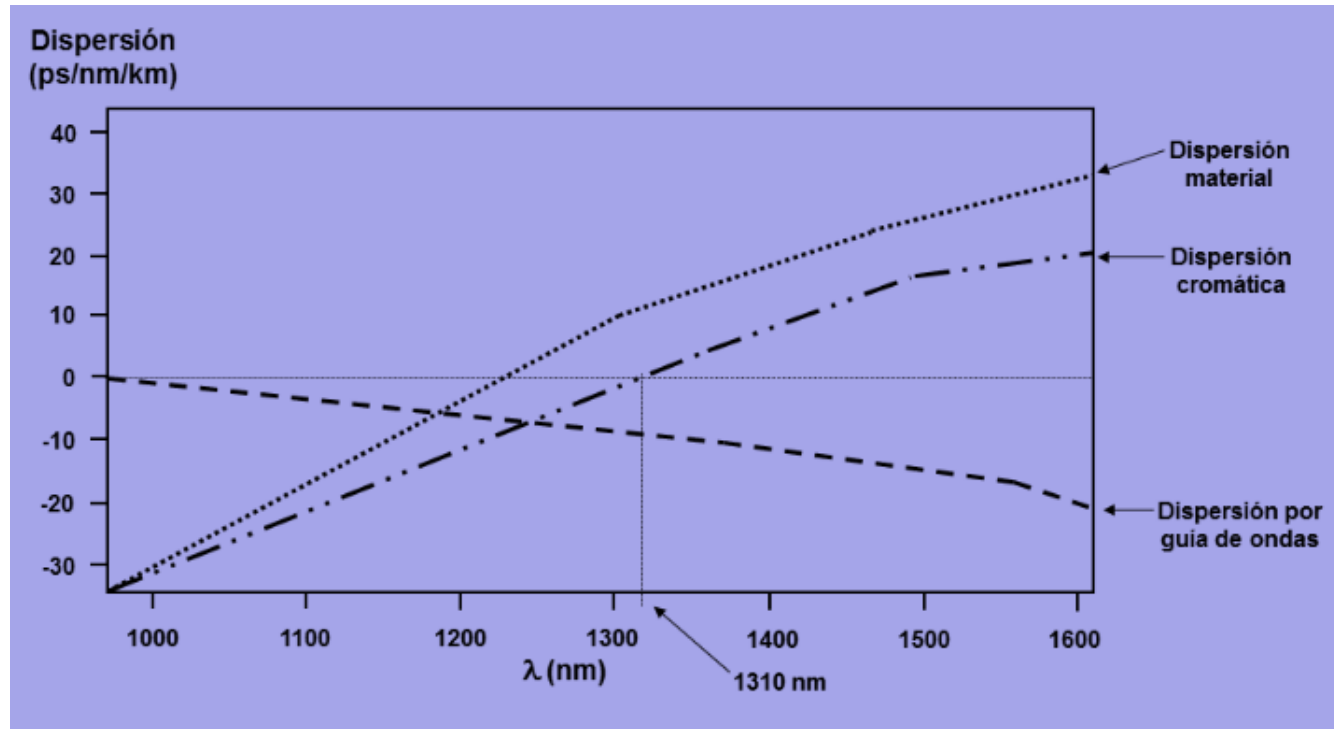
Como ya hemos visto, la propagación en una fibra monomodo viaja por la cubierta del núcleo y la proporción de lo que viaja crece conforme al aumento de la longitud de onda.

Pero la cubierta tiene un índice de refracción menor por lo cual viaja más 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

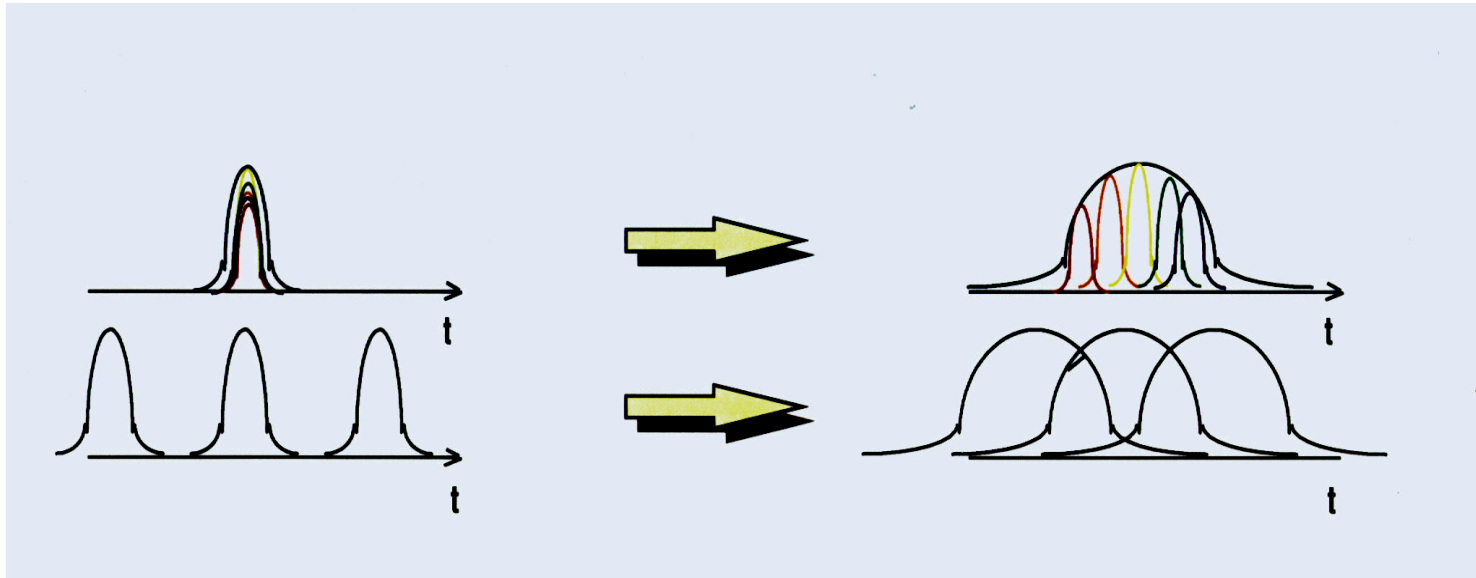
DISPERSIÓN CROMÁTICA



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..



- Como puede verse, el efecto de la **dispersión cromática** producida es **función de la distancias recorrida** por el haz de luz en el medio.

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- *Las variantes de fibra ópticas monomodo fijadas por ITU-T básicamente se diferencian en el valor de dispersión cromática en cada banda de operación.*
- 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.
- La unidad de medida para la dispersión cromática de la fibra es **ps/(nm*km)** que indica que un pulso con una anchura espectral de un nanómetro se ensancha por un picosegundo por cada kilómetro que viaja.

DISPERSIÓN CROMÁTICA

- Es decir que en el efecto de *ensanchamiento del pulso (información)* dependerá, no solo de los *km que recorra en la fibra óptica* sino también de la *anchura espectral del diodo emisor*.
- La fibra óptica en si a lo largo del enlace entregará una dispersión en **ps/nm**, que luego deberá ser contrastado por las características espectrales del conjunto diodo emisor y diodo fotoreceptor.

Módulo II

Componentes y
reflexión en el
medio

Atenuación

Dispersión Modal

Dispersión
Cromática

Dispersión Modo
de Polarización

Tipos de Fibras
Ópticas

DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Dispersión Modo de Polarización:

Es un efecto **no deseado estadístico** (no determinístico), **no compensable** en sistemas con modulación por Intensidad (IM)

En las ***fibras multimodo*** el efecto de la ***dispersión de modo de polarización es despreciable*** frente a la dispersión modal.

En cambio en las ***fibras monomodo***, el efecto de la ***dispersión de modo de polarización puede ser determinante*** para velocidades de información a partir de los ***10Gb/s*** como se verá en módulos siguientes.

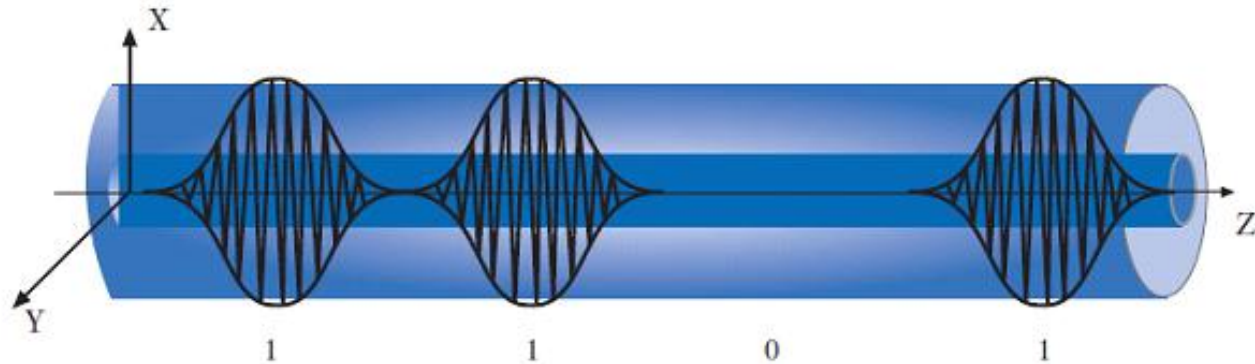
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

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 ó en la vía publica. 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 publica, generan un stress por “estiramiento” en la fibra que deforman la circularidad original de la fibra.

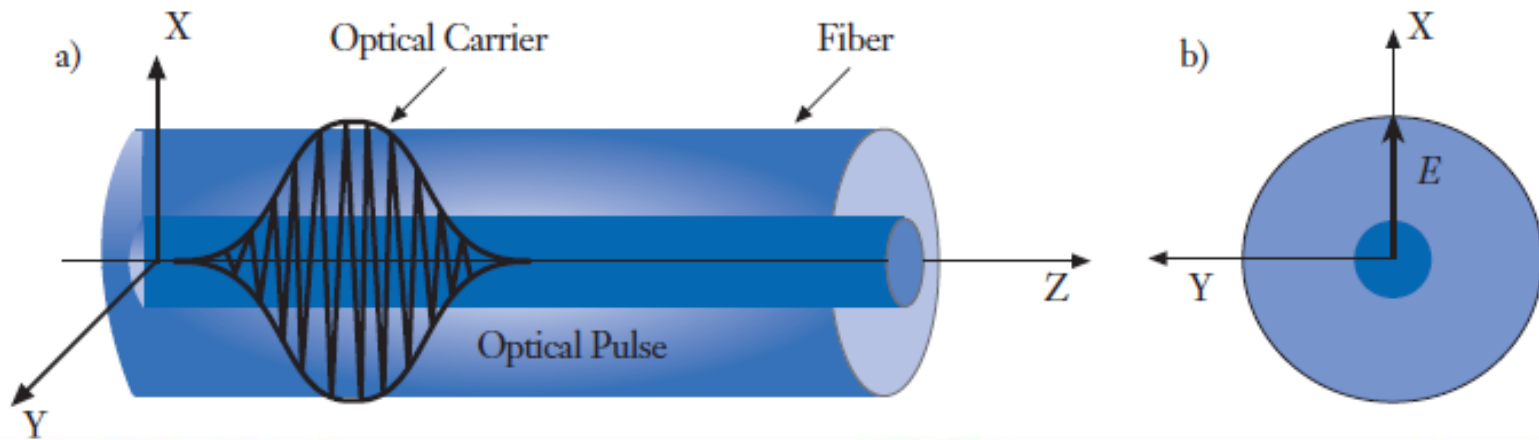
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- 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.



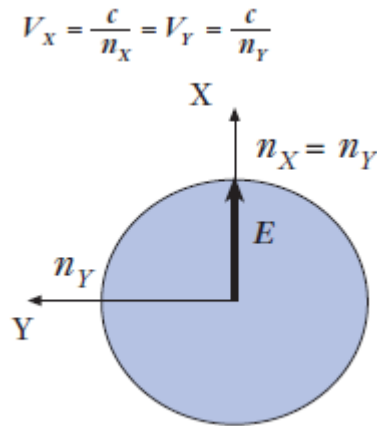
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- 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 .



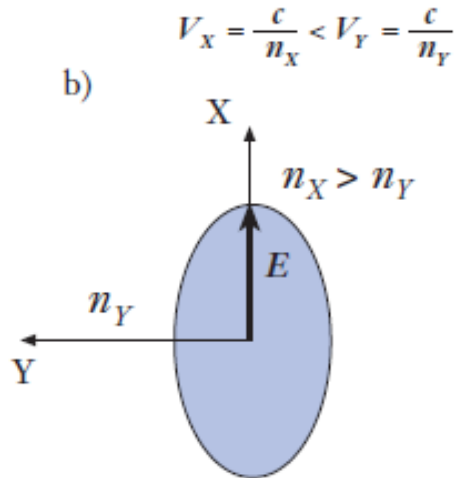
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- 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 ó Y.



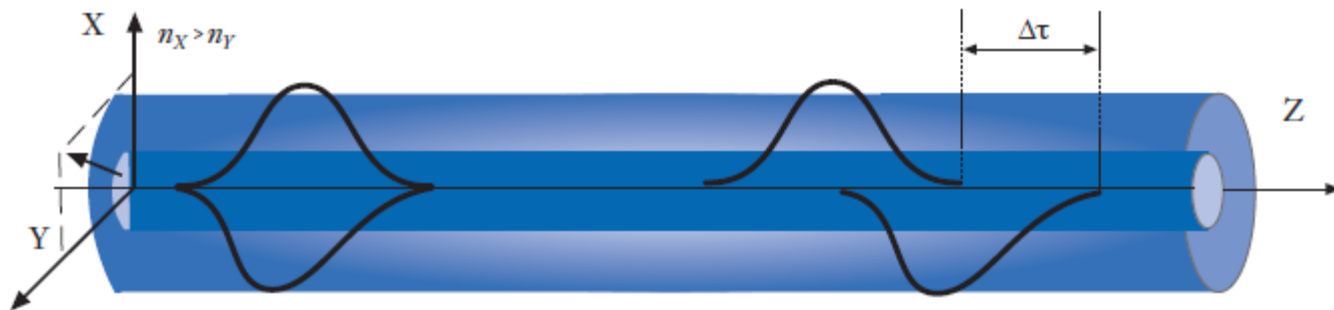
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Por el contrario si la fibra no presenta una simetría en la circularidad de la fibra (tipo elipse), el índice de refracción de la elipse, es una elipse cuyos ejes son proporcionales a los índices de refracción n_x y n_y . A este efecto de propagar en diferente velocidad sobre un eje u otro se lo conoce como birrefringencia.



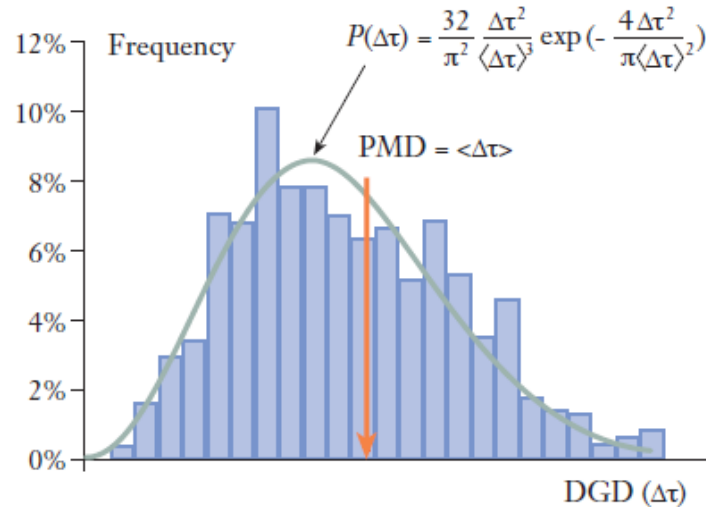
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- 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- Delay Group Differential).



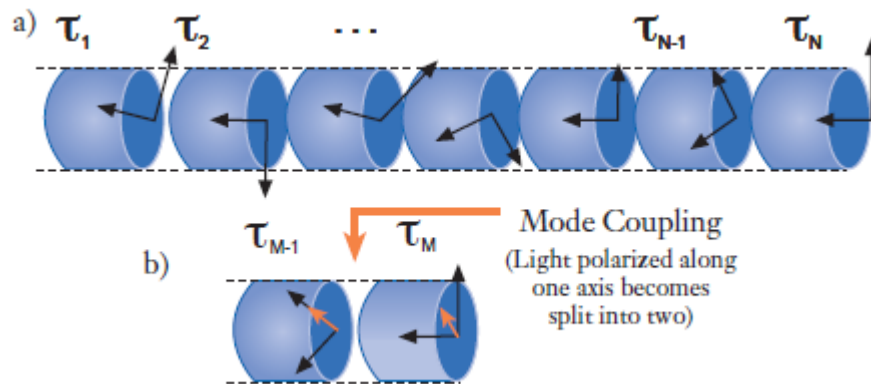
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Si uno mide el DGD instantáneo de una determinada sección 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 ó Δt .



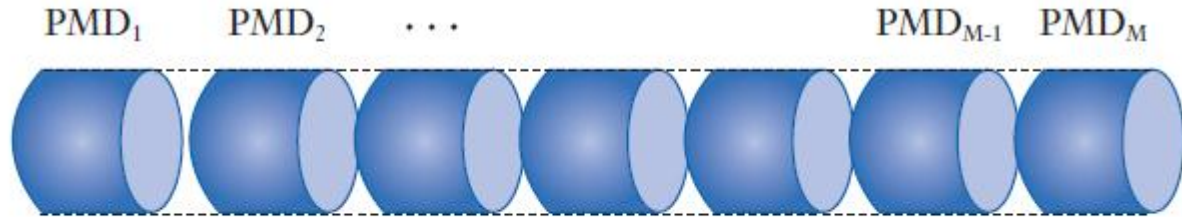
DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- El PMD es relacionado al DGD por la birrefringencia en la fibra, pero sin embargo la relación es mas compleja debido que este efecto varia con la longitud con diferentes secciones exhibiendo diferentes niveles en los ejes. Es decir que el PMD en una fibra debería mostrarse como una serie concatenada de secciones con diferente birrefringencia.



DISPERSIÓN MODO DE POLARIZACIÓN

- Si fuera el caso que tuvieran un Link con distintas secciones medidas con distintos valores de PMD, al ser una distribución de Maxwell, el valor del **coeficiente del PMD** del Link total se resume de la siguiente manera., siendo su unidad [ps/km^{1/2}]



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

- Llevado a términos de delay, el DGD medio se expresa:

$$DGD_{medio}[ps] = \sqrt{\sum \left[PMD_n \left[\frac{ps}{\sqrt{Km}} \right] \times \sqrt{Long_n[km]} \right]^2}$$



Fin Módulo II

Lección N° 3

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com