



Módulo IV

Ejercicios de aplicación

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com

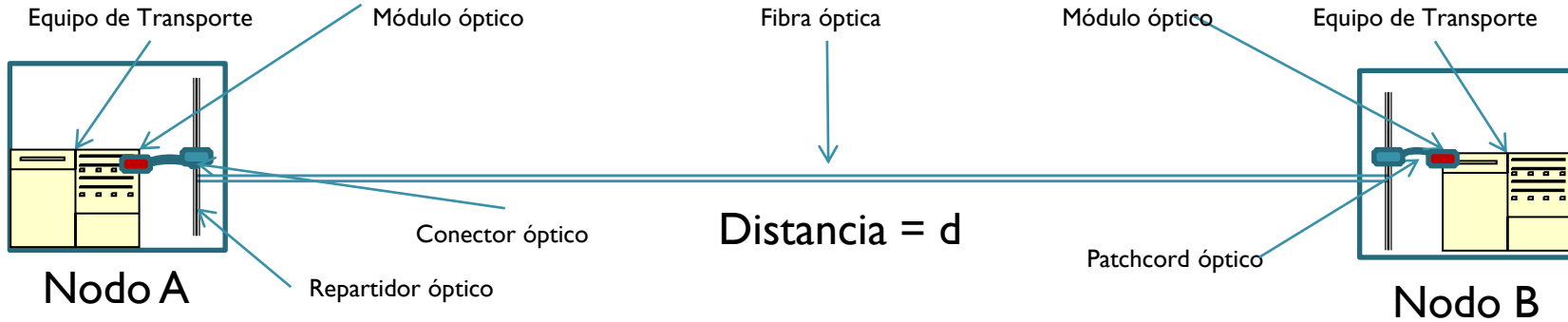
Enunciado general

- En los casos de estudios que se presentan a continuación, se entregará la información mínima necesaria para evaluar la correcta performance de un sistema óptico:
 - Diagrama esquemático del trazado y componentes previstos en el sistema óptico:
 - Fibra óptica
 - Conectores.
 - Patchcord .
 - Parámetros de Fibra óptica.
 - Parámetros del transceptor óptico.

Enunciado general

- Con los datos entregados, será necesario plantear las inecuaciones vistas en este módulo IV.
- Estas inecuaciones deben calcularse para luego contrastarlas con el cuestionario presente en esta misma actividad.
- Con estos resultados deberá responder si el sistema tiene una performance adecuada al BER de la aplicación.
- Tener presente que los valores de potencia de Tx y Rx en los transceptores incluyen las pérdidas de inserción (atenuación) de los conectores presentes en el módulo óptico.

Caso de Análisis N°1



- Entre los nodos A y B se realiza un tendido de fibra óptica ITU-T G.652 nueva marca Corning SMF-28e sobre una traza de 10 km.
- El cable se entrega en rollos de 4 km de extensión. Es decir que para cubrir la distancia requerirá de 2 empalmes ópticos.
- La fibra en ambos extremos será terminada en repartidores ópticos con conectores y acopladores E-2000.

Caso de Análisis N°1

- En cada extremo, se utilizarán patchcord ópticos de una longitud de 10 mts que adaptarán el conector tipo LC del módulo óptico en un extremo y E-2000 en el otro. Se adjunta la pérdida de inserción (atenuación) del conector E2000.
- La longitud de los patchcord se desprecian en la longitud del enlace.
- Con este cable instalado, se pretende realizar un enlace a una velocidad de información de 10 Gb/s utilizando un módulo óptico tipificado para una distancia de 10Km acorde a las especificaciones IEEE 802.3ae 10G base LR cuyo características técnicas básicas se entrega a continuación.
- En caso de necesidad, se listan los atenuadores que dispone.

Caso de Análisis N°1

Módulo Óptico	10 Gbase LR
Tipo de Fibra	G.652
Distancia	10 Km
Máxima Tasa de error de bit	10^{-12}
Rango de Long. de Onda	1270 a 1350 nm
$PT_{x_{max}}$	+ 0,5dBm
$PT_{x_{min}}$	- 8.2 dBm
$PR_{x_{min}}$	- 15.6. dBm
$PR_{x_{max}}$	+ 0,5 dBm
Tolerancia Disp. Cromática	70 ps/nm
Máximo DGD	30 ps
Máxima Penalidad	1.2 dB

Caso de Análisis N°1

- Con respecto al cable, a partir del módulo elegido, tendremos que calcular el valor máximo de dispersión cromática que aportará la fibra para el rango de longitudes de ondas del transceptor.
- Observando la hoja de datos del fabricante de fibra, vemos que la dispersión cromática de este cable cumple con:

Dispersion

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}),$$

for $1200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1625 \text{ nm}$

λ = Operating Wavelength

- Siendo λ_0 la longitud de onda con dispersión nula y S_0 la pendiente en cero dispersión.
- A partir de estos datos se detallan los valores de la fibra óptica, conectores y criterio de margen que deberán adoptar.

Caso de Análisis N°1

Fibra óptica	Corning SMF-28e (ITU-T G.652)
Distancia Enlace (d)	10 km
Att_max@1310 nm	0,35 dB/km
Att_max@1550 nm	0,20 dB/km
λ_0	1317 nm
S ₀	0.088 ps/(nm*Km)
DCmax@1310 nm (1270-1350 nm)	4.4 ps/(nm*Km)
DCmax@1550 nm (3° ventana)	~18 ps/(nm*Km)
PMD@1310 /1550 nm	0,2 ps/km ^{1/2}

Atenuación Conector E2000	Medio = 0.15 db Max = 0,3 db
------------------------------	---------------------------------

Atenuación x empalme de Fusión	0.15 db
-----------------------------------	---------

Margen de envejecimiento estimado	1 db
---	------

Atenuadores fijos Disponibles	3 db 5 db 10 db
----------------------------------	-----------------------

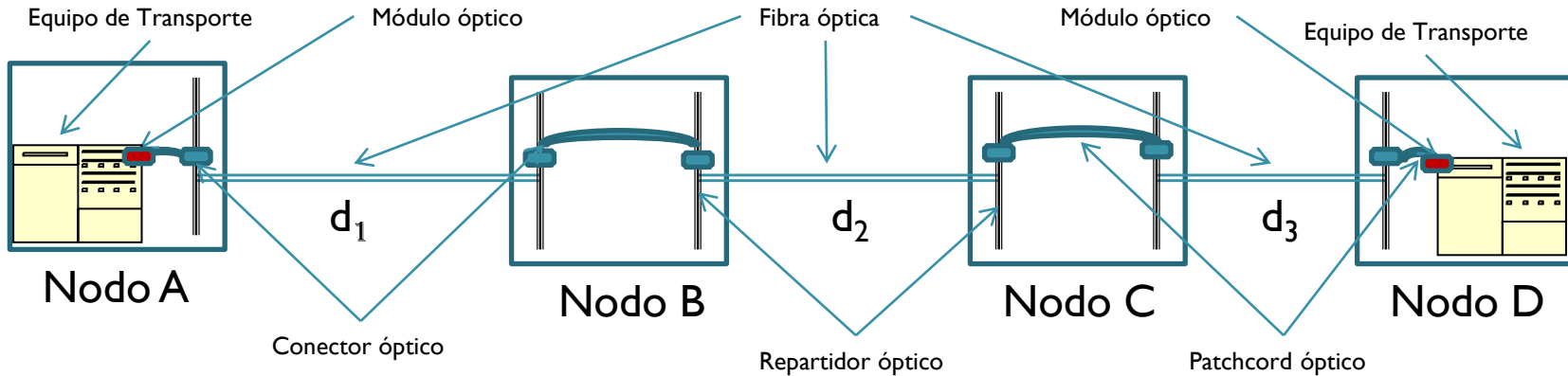
Caso de Análisis N°1

- Tome lápiz y papel y plantee las inecuaciones vistas en este módulo.
- Realice los cálculos y téngalos a mano para volcarlos al cuestionario de respuestas de ejercicios.
- Se listan a continuación las preguntas que, en el mismo orden aparecerán en el cuestionario y Ud. debe responder en la presente actividad.
 - ¿Cuántas Inecuaciones debe plantear?.
 - ¿Ha necesitado introducir un atenuador?. ¿De que valor?
 - Atenuación.
 - ¿Cuál es la Mínima Atenuación Total del Trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cual es la Mínima Atenuación Tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
 - ¿Cual es la Máxima Atenuación Total del trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cual es la Máxima Atenuación tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.

Caso de Análisis N°1

- **Dispersión Cromática (DC)**
 - ¿Cuál es la dispersión cromática aportada por la fibra óptica expresada en ps/nm?
 - ¿Cual es la Dispersión Cromática tolerada por el transceptor expresada en ps/nm?.
- **Dispersión de Modo de Polarización (PMD).**
 - Cuál es Máximo Retardo aportada por la fibra óptica por el modo de polarización expresada en ps?
 - Cual es el máximo Retardo de Grupo Diferencial tolerado por el transceptor elegido expresada en ps?
- **Con los datos calculados.....**
 - ¿Observa alguna limitación?. ¿Cual?
 - ¿Estima que la performance del enlace será de al menos una tasa de error de bit de 10^{-12} ?

Caso de Análisis N°2



- Se desea hacer un enlace óptico entre los nodos A y D utilizando el plantel de fibra existente G.652 marca Corning SMF-28e como se muestra en la figura.
- La distancia total es de 8 km distribuyéndose entre los nodos A, B, C, D de la siguiente manera:
 - A-B= d_1 = 4Km
 - B-C= d_2 = 2 Km
 - C-D= d_3 = 2 Km

Caso de Análisis N°2

- La fibra entre nodos esta terminada en repartidores ópticos con conectores y acopladores FC-PC cuya media y máxima perdida de inserción esperada (atenuación) es indicada.
- Se utilizarán patchcord ópticos de 10 mts de longitud con las siguientes características:

Nodos A y D: con conector tipo LC en un extremo (módulo) y FC-PC en el otro (repartidor).

Nodos B y C: con conectores FC-PC en ambos extremos.

La longitud de los patchcord se desprecian en la longitud del enlace.

Caso de Análisis N°2

- Al ser una fibra instalada con algunos años, se realizan las mediciones de atenuación y PMD sobre cada uno de los tramos en la ventana de operación del laser emisor de la aplicación elegida.
- Sobre esa infraestructura óptica, se pretende realizar un enlace a una velocidad de información de 10 Gb/s utilizando un módulo óptico tipificado para una distancia de 10Km acorde a las especificaciones IEEE 802.3ae 10G base LR (el mismo del ejercicio anterior).
- Se destaca también el criterio de margen de envejecimiento que se deberá adoptar.
- En caso de necesidad, se listan los atenuadores que dispone.

Caso de Análisis N°2

Fibra óptica	Corning SMF-28e (ITU-T G.652)
Distancia Enlace ($d_1 + d_2 + d_3$)	8 km
Att $d_1 @ 1310$ nm	1,6 dB
Att $d_2 @ 1310$ nm	0,9 dB
Att $d_3 @ 1310$ nm	0,8 dB
λ_0	1317 nm
S_0	0.088 ps/(nm*Km)
DCmax@1310 nm (1270-1350 nm)	4.4 ps/(nm*Km)
DCmax@1550 nm (3° ventana)	~18 ps/(nm*Km)
DGD $d_1 @ 1310$ nm	2,2 ps
DGD $d_2 @ 1310$ nm	1,4 ps
DGD $d_3 @ 1310$ nm	0,9 ps

Atenuación Conector FC-PC	Medio = 0.30 db Max = 0,5 db
Margen de envejecimiento estimado	1 db
Atenuadores fijos Disponibles	3 db 5 db 10 db

Caso de Análisis N°2

Módulo Óptico	10 Gbase LR
Tipo de Fibra	G.652
Distancia	10 Km
Máxima Tasa de error de bit	10^{-12}
Rango de Long. de Onda	1270 a 1350 nm
$PT_{x_{max}}$	+ 0,5dBm
$PT_{x_{min}}$	- 8.2 dBm
$PR_{x_{min}}$	- 15.6. dBm
$PR_{x_{max}}$	+ 0,5 dBm
Tolerancia Disp. Cromática	70 pseg/nm
Máximo DGD	30 pseg
Máxima Penalidad	1.2 dB

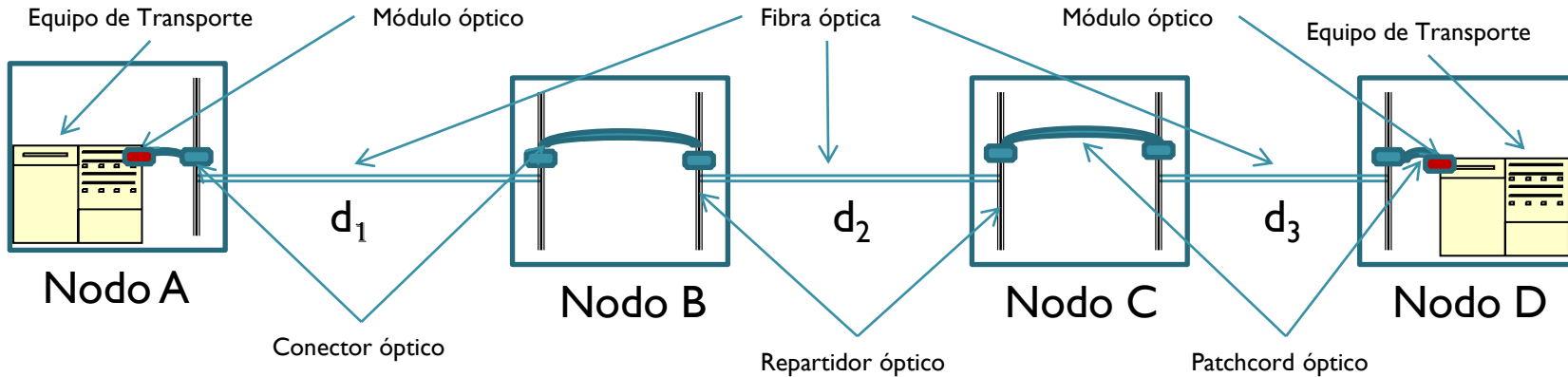
Caso de Análisis N°2

- Tome lápiz y papel y plantee las inecuaciones vistas en este módulo.
- Realice los cálculos y téngalos a mano para volcarlos al cuestionario de respuestas de ejercicios.
- Se listan a continuación las preguntas que en el mismo orden aparecerán en el cuestionario y Ud. debe responder en la presente actividad.
 - Al ser la distancia total del enlace menor al parámetro de alcance (distancia) de la interfaz, ¿Cree necesario realmente plantear las inecuaciones ?
 - ¿Ha necesitado introducir un atenuador?. ¿De que valor?
 - Atenuación.
 - ¿Cuál es la Mínima Atenuación Total del Trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cual es la Mínima Atenuación Tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
 - ¿Cual es la Máxima Atenuación Total del trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cual es la Máxima Atenuación tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.

Caso de Análisis N°2

- **Dispersión Cromática (DC)**
 - ¿Cuál es la dispersión cromática aportada por la fibra óptica expresada en ps/nm?
 - ¿Cual es la Dispersión Cromática tolerada por el transceptor expresada en ps/nm?.
- **Dispersión de Modo de Polarización (PMD).**
 - Cuál es Máximo Retardo aportada por la fibra óptica por el modo de polarización expresada en ps?
 - Cual es el máximo Retardo de Grupo Diferencial tolerado por el transceptor elegido expresada en ps?
- **Con los datos calculados.....**
 - ¿Observa alguna limitación?. ¿Cual?
 - ¿Estima que la performance del enlace será de al menos una tasa de error de bit de 10^{-12} a lo largo del tiempo?.

Caso de Análisis N°3



- Sobre el mismo tendido y nodos del caso anterior, se pretende realizar el mismo enlace a la misma velocidad de información de 10 Gb/s pero ahora utilizando un módulo óptico tipificado para una distancia de 40Km acorde a las especificaciones IEEE 802.3ae 10G base ER que se corresponde con la características ITU-T G.959.1 Aplicación P1S1-2D2a (S.64.2a).

- Los parámetros del nuevo transceptor son:

Caso de Análisis N°3

Módulo Óptico	P1S1-2D2a
Tipo de Fibra	G.652
Distancia	40 Km
Máxima Tasa de error de bit	10^{-12}
Rango de Long. de Onda	1530 a 1565 nm
$PT_{x_{max}}$	- 1 dBm
$PT_{x_{min}}$	- 5 dBm
$PR_{x_{min}}$	- 18 dBm
$PR_{x_{max}}$	- 8 dBm
Tolerancia Disp. Cromática	720 pseg/nm
Máximo DGD	30 pseg
Máxima Penalidad	2 dB

Caso de Análisis N°3

- Con nuevo módulo elegido, tendremos que calcular el valor máximo ajustado de dispersión cromática que aportará la fibra para el rango de longitudes de ondas del transceptor.
- Tomando la misma formula anterior establecida por el fabricante, vemos que sigue siendo válida para este rango de longitudes de onda del nuevo transceptor

Dispersion

$$\text{Dispersion} = D(\lambda): \approx \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}),$$

for 1200 nm \leq λ \leq 1625 nm

λ = Operating Wavelength

CePETel

Sindicato de los Profesionales
de las Telecomunicaciones

SECRETARÍA TÉCNICA



Instituto Profesional de
Estudios e Investigación

DOTCOM
FORMACIÓN

Caso de Análisis N°3

- A partir de estos datos se vuelve a medir Atenuación y PMD en la fibra óptica en la ventana de operación de la nueva aplicación y se dan los valores de atenuación máxima de accesorios y criterio que deberá adoptar.
- En caso de necesidad, se listan los atenuadores que dispone.

Caso de Análisis N°3

Fibra óptica	Corning SMF-28e (ITU-T G.652)
Distancia Enlace ($d_1 + d_2 + d_3$)	8 km
Att $d_1 @ 1550$ nm	1,0 dB
Att $d_2 @ 1550$ nm	0,6 dB
Att $d_3 @ 1550$ nm	0,5 dB
λ_0	1317 nm
S_0	0.088 ps/(nm*Km)
DCmax@1310 nm (1270-1350 nm)	4.4 ps/(nm*Km)
DCmax@1550 nm (1530-1565 nm)	17.2 ps/(nm*Km)
DGD $d_1 @ 1550$ nm	2,3 ps
DGD $d_2 @ 1550$ nm	1,6 ps
DGD $d_3 @ 1550$ nm	1.1 ps

Atenuación Conector FC-PC	Medio = 0.50 db Max = 0,5 db
Margen de envejecimiento estimado	1 db
Atenuadores Fijos Disponibles	3 db 5 db 10 db

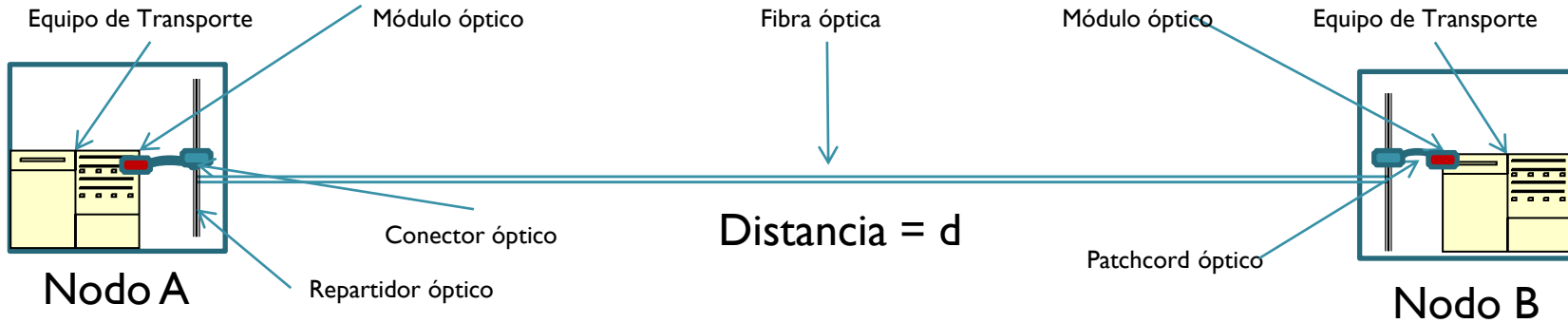
Caso de Análisis N°3

- Tome lápiz y papel y plantee las inecuaciones vistas en este módulo.
- Realice los cálculos y téngalos a mano para volcarlos al cuestionario de respuestas de ejercicios.
- Se listan a continuación las preguntas que en el mismo orden aparecerán en el cuestionario y Ud. debe responder en la presente actividad.
 - ¿Cuántas Inecuaciones debe plantear con este tipo de módulo?
 - ¿Ha necesitado introducir un atenuador?. ¿De que valor?
 - Atenuación.
 - ¿Cuál es la Mínima Atenuación Total del Trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cuál es la Mínima Atenuación Tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
 - ¿Cuál es la Máxima Atenuación Total del trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cuál es la Máxima Atenuación tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.

Caso de Análisis N°3

- **Dispersión Cromática (DC)**
 - ¿Cuál es la dispersión cromática aportada por la fibra óptica expresada en ps/nm?
 - ¿Cual es la Dispersión Cromática tolerada por el transceptor expresada en ps/nm?.
- **Dispersión de Modo de Polarización (PMD).**
 - Cuál es Máximo Retardo aportada por la fibra óptica por el modo de polarización expresada en ps?
 - Cual es el máximo Retardo de Grupo Diferencial tolerado por el transceptor elegido expresada en ps?
- **Con los datos calculados.....**
 - ¿Observa alguna limitación?. ¿Cual?
 - ¿Estima que la performance del enlace será de al menos una tasa de error de bit de 10^{-12} ?

Caso de Análisis N°4



- A partir del «Caso de Análisis N°1», al poco tiempo de realizado el enlace, se ve la necesidad de ampliar la capacidad de 10Gb/s a 100Gb/s. Dado el poco tiempo transcurrido se considera que los parámetros de la fibra y elementos adicionales como patchcord y conectores, no han sufrido degradación.
- Se corrobora que el equipo de transporte soporta módulos ópticos QSFP28 y presenta dentro de las variantes un módulo óptico tipificado para una distancia de 10Km acorde a las especificaciones IEEE 802.3ba 100G base LR que se corresponde con la características ITU-T G.959.1 Aplicación 41-9D1F.

Caso de Análisis N°4

Módulo Óptico	4I1-9D1F
Tipo de Fibra	G.652
Distancia	10 Km
Máxima Tasa de error de bit	10^{-12}
Máximo número de canales	4
Frecuencia Central [THz]	$229.0 + 0.8m$, $m = 0$ a 3
$P_{tx_{max_channel}}$	+ 4 dBm
$P_{tx_{min_channel}}$	- 0,6 dBm
$P_{rx_{min_channel}}$	- 8,4 dBm
$P_{rx_{max_channel}}$	+ 4 dBm
Tolerancia Disp. Cromática	-28.5 a +9.5 ps/nm
Máximo DGD	8 ps
Máxima Penalidad	1.5 dB

Caso de Análisis N°4

- Con respecto al cable, a partir del módulo elegido, tendremos que calcular el valor máximo de dispersión cromática que aportará la fibra para este transceptor.
- En este caso, no es un rango de longitudes de onda, sino 4 canales específicos, dados en sus frecuencias centrales y no en sus Longitudes de onda.
- Transformando cada canal de THz a nm y viendo como afecta la dispersión con la ecuación aportada por el fabricante de fibra,

Dispersion

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}),$$

$$\text{for } 1200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1625 \text{ nm}$$

λ = Operating Wavelength

- se puede calcular la dispersión cromática para cada canal.....

Caso de Análisis N°4

Canal [m]	Frecuencia [THz]	Long. De Onda [nm]	Dispersión de la Fibra [ps/(nm*Km)]
0	229,0	1310,0	-0,62
1	229,8	1305,5	-1,03
2	230,6	1301,0	-1,43
3	231,2	1297,5	-1,76

- Con estos datos, volvemos a plantear los valores aportados por la fibra óptica

Caso de Análisis N°4

Fibra óptica	Corning SMF-28e (ITU-T G.652)
Distancia Enlace (d)	10 km
Att_max@1310 nm	0,35 dB/km
Att_max@1550 nm	0,20 dB/km
λ_0	1317 nm
S ₀	0.088 ps/(nm*Km)
DCmax@1310 nm (1297,5-1310 nm)	-1,76 ps/(nm*Km)
DCmax@1550 nm (3° ventana)	~18 ps/(nm*Km)
PMD@1310 /1550 nm	0,2 ps/km ^{1/2}

Atenuación Conector E2000	Medio = 0.15 db Max = 0,3 db
------------------------------	---------------------------------

Atenuación x empalme de Fusión	0.15 db
-----------------------------------	---------

Margen de envejecimiento estimado	1 db
---	------

Atenuadores Fijos Disponibles	3 db 5 db 10 db
----------------------------------	-----------------------

Caso de Análisis N°4

- Tome lápiz y papel y plantee las inecuaciones vistas en este módulo.
- Realice los cálculos y téngalos a mano para volcarlos al cuestionario de respuestas de ejercicios.
- Se listan a continuación las preguntas que en el mismo orden aparecerán en el cuestionario y Ud. debe responder en la presente actividad.
 - ¿Cree que podría obviarse alguna inecuación por haber cambiado solo la velocidad de información? ¿Cual sería?.
 - ¿Ha necesitado introducir un atenuador?. ¿De que valor?
 - Atenuación.
 - ¿Cuál es la Mínima Atenuación Total del Trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cual es la Mínima Atenuación Tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
 - ¿Cual es la Máxima Atenuación Total del trayecto óptico expresada en dB?
 - ¿Cual es la Máxima Atenuación tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.

Caso de Análisis N°4

- **Dispersión Cromática (DC)**
 - ¿Cuál es la dispersión cromática aportada por la fibra óptica expresada en ps/nm?
 - ¿Cual es la Dispersión Cromática tolerada por el transceptor expresada en ps/nm?.
- **Dispersión de Modo de Polarización (PMD).**
 - Cuál es Máximo Retardo aportada por la fibra óptica por el modo de polarización expresada en ps?
 - Cual es el máximo Retardo de Grupo Diferencial tolerado por el transceptor elegido expresada en ps?
- **Con los datos calculados.....**
 - ¿Observa alguna limitación?. ¿Cual?
 - ¿Estima que la performance del enlace será de al menos una tasa de error de bit de 10^{-12} ?



Fin Módulo IV

Ejercicios de aplicación

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com