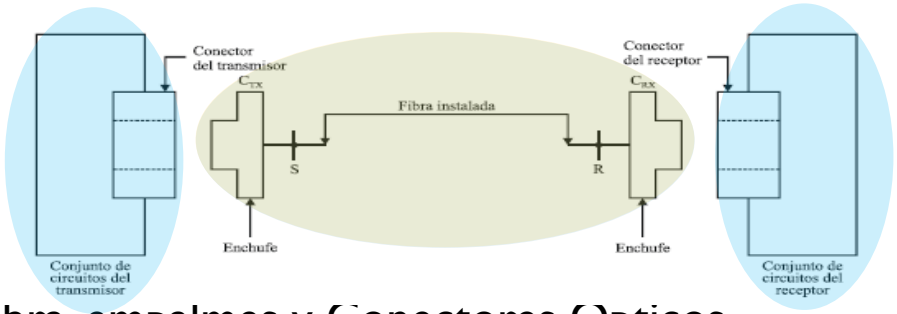
Módulo III

Cálculo de Enlace Óptico

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com

Performance de Enlaces Ópticos

Teniendo el modelo tipo de un enlace óptico, veremos en este capitulo como se interrelacionan:



- Módulos I: Fibra, empalmes y Conectores Opticos.
- Módulo II: Características Técnicas de Transceptores.
- Incorporando algunos criterios que deberán tenerse en cuenta.

Para el cálculo de un enlace óptico con adecuada performance

CePETel Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Transmisor - Fibra óptica - Receptor

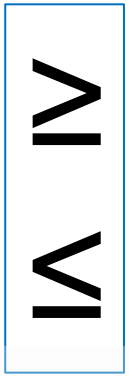
- ¿Que es una performance adecuada?.

  Tener un enlace óptico que ***asegure*** una tasa de error de bit en el tiempo.

- ¿Cual es una tasa de error de bit adecuada?.

"Es la tasa de error de bit del parámetro "maximum error rate" de la interfaz seleccionada para el enlace".

Características de Transceptor Óptico



Parámetros de fibra y elementos vinculantes ópticos

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Tabla Resumen de Inecuaciones a plantear

Fibra	Velocidad Interfaz	Atenuación Mínima	Atenuación Máxima	Dispersión Modal	Dispersión Cromática	Dispersión Modo Polarización
MM	Baja (1Gb/s)	NA	☑	☑	NA	NA
	Media (10Gb/s)	NA	☑	☑	NA	NA
	Alta (100 Gb/s)	NA	☑	☑	NA	NA
SM	Baja (1Gb/s)	☑	☑	NA	☑	NA
	Media (10Gb/s)	☑	☑	NA	☑	☑
	Alta (100 Gb/s)	☑	☑	NA	☑	☑

$\mathrm{NA} = \mathrm{No\ Aplica}$

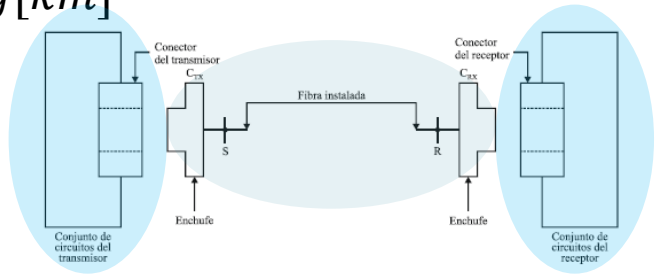
Mínima Atenuación

- La suma de las atenuaciones ***mínimas*** de TODOS los elementos pasivos de medio de enlace como la fibra óptica, conectores* y empalmes*, *en la banda de operación del diodo emisor de la aplicación seleccionada*, deberán ser ***Mayor ó Igual*** al parámetro "Mínima Atenuación Tolerada" del transceptor óptico.

$$\text{MinAtt[db]} \leq \sum AttFo@frec[db/km] \times Long[km]$$

$$MinAtt = PTx_{\max} - PRx_{\max}$$

$$MinAtt_{channel} = PTx_{\max_channel} - PRx_{\max_channel}$$



* En estos elementos lo que se especifica son los valores medio y máximo, no el mínimo.

CePETel Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Mínima Atenuación

- Para el caso que la fibra ya instalada y medida a la banda de trabajo….

$$\text{MinAtt[db]} \leq \sum AttFo_medida@frec[db]$$

¿Que sucede si no se cumple la inecuación?. ¿Puedo resolver este problema y evitar que sature el Rx?.

Atenuador fijo

De incluirse un Atenuador Fijo, cuyo valor asegure cumplir el mínimo de la desigualdad. Este valor deberá incorporarse también en el siguiente cálculo de Máxima Atenuación.

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Máxima Atenuación

- La suma de todas las atenuaciones introducidas por los elementos pasivos de medio de enlace como la fibra, conectores y empalmes, *en la banda de operación del diodo emisor de la aplicación seleccionada*, deberán ser ***Menor ó Igual*** al parámetro "Máxima Atenuación Tolerada" de la aplicación (Transceptor óptico).

- La atenuación de una fibra, los conectores y la performance de los láseres es un parámetro que varia con el tiempo una vez instalados.

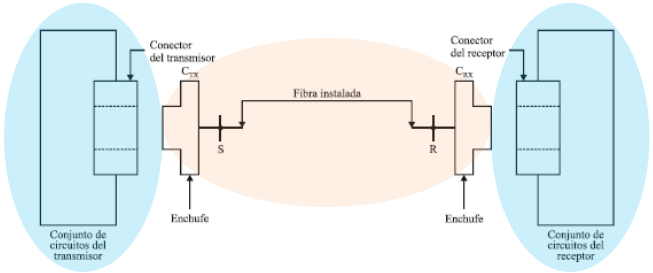
- Para evitar que un enlace deje de funcionar en su tiempo de vida, se incorpora un "Margen de Envejecimiento" (expresado en dB) que considera la degradación del plantel óptico y los láseres para no afectar el funcionamiento del enlace durante el tiempo de vida.

Máxima Atenuación

Entonces:

$$\text{MaxAtt[db]} \geq \sum AttFo@frec\left[\frac{db}{km}\right] \times Long[km] + \sum AttEmp[db] \sum AttConectorMAX[db] + Attfijo[db] + Mar_Env[db]$$

$$MaxAtt = PTx_{\min} - PRx_{\min} - Max_Path_{Penalty}$$



$$MaxAtt__{channel} = PTx_{\min_channel} - PRx_{\min_channel} - Max_Path_{Penalty}$$

- Para una fibra <u>ya este instalada</u> y se mida la atenuación <u>a la frecuencia de operación del transmisor</u> (incluye fibra y empalmes) …..

$$\text{MaxAtt[db]} \geq \sum AttFo_{medida}@frec[db] + \sum AttConectorMAX[db] + Attfijo[db] + Mar_Env[db]$$

Margen de Envejecimiento.

- El criterio de envejecimiento no esta estandarizado y es fuertemente dependiente del mantenimiento preventivo y la experiencia del proyectista.
- Un posible criterio podemos dividirlo en dos aspectos:

  - *Enlace de corto alcance (hasta 30 km)*: Al ser una distancia corta, la degradación que puede tener la fibra esta en el mismo orden que puede tener los conectores ópticos.

    Es por eso que en estos casos se toma como criterio tener un valor fijo cuyo valor razonable podría ser entre 1 y 2 db.

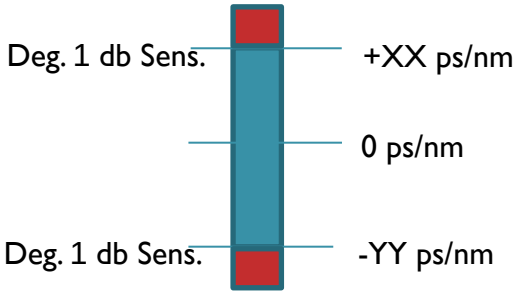
  - *Enlaces de largo alcance (mas de 30 km):* En estos casos la degradación de la fibra tiene mucha mas preponderancia, por eso en este caso se toma como criterio que el margen de envejecimiento sea en función de un valor fijo afectado por la distancia como por ejemplo 1 dB + 0.035 dB/km.

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Dispersión Cromática

- La dispersión Cromática introducida en valor absoluto por una fibra en la banda de operación del diodo emisor a lo largo de un enlace (Long) dado en Km, deberá **ser menor** al parámetro "Dispersión Cromática Tolerada" por la interfaz.

$$|\mathrm{DCMax}[^{ps}/_{nm}]| \geq |DCFO@frec[^{ps}/_{nm*km}]xLong[Km]|$$

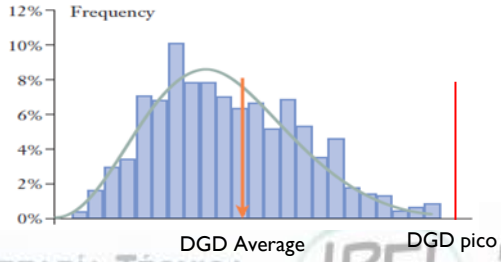


CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Dispersión Modo de Polarización

- El Retardo de Grupo Diferencial introducido por una fibra debido a la Dispersión de Modo de Polarización en la banda de operación del diodo emisor a lo largo de un enlace (Long) dado en Km, deberá ***ser menor*** que "Máximo Retardo de Grupo Diferencial (DGDMax)" de la interfaz seleccionada.

- Siendo el PMD de la fibra un proceso estadístico con una distribución de Maxwell, considerando un ***DGD pico*** a tres veces el ***DGD Average***, nos da una probabilidad de 4,2 x 10^{-5} (bastante baja) que se exceda este valor máximo.



CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Dispersión Modo de Polarización

En el caso que sea un tendido nuevo de fibra….

$$\mathbf{DGDmax[ps]} \geq 3 \times PMDave\ [\frac{ps}{\sqrt{Km}}] \times \sqrt{Long[km]}$$

En caso que la *fibra este tendida* durante un tiempo y haya sufrido el stress de estiramiento por cortes, el DGDmax será…..

$$\mathbf{DGD_{max}[ps]} \geq 3 \times \sqrt{\sum [DGD_n[ps]]^2}$$

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Dispersión Modal

- Se aplica ***SOLO*** a fibras Multimodo.
- La longitud máxima de un enlace por efecto de la dispersión modal debe ser menor al parámetro "Ancho de Banda Modal" a la velocidad de Información de la aplicación seleccionada.

$$\mathbf{Long_{Max}[Km]} \leq \frac{Modal_{Bandwide}[MHz \times Km]}{Veloc_{channel}[MHz]}$$

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Fin Módulo III

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com

BREAK !!!

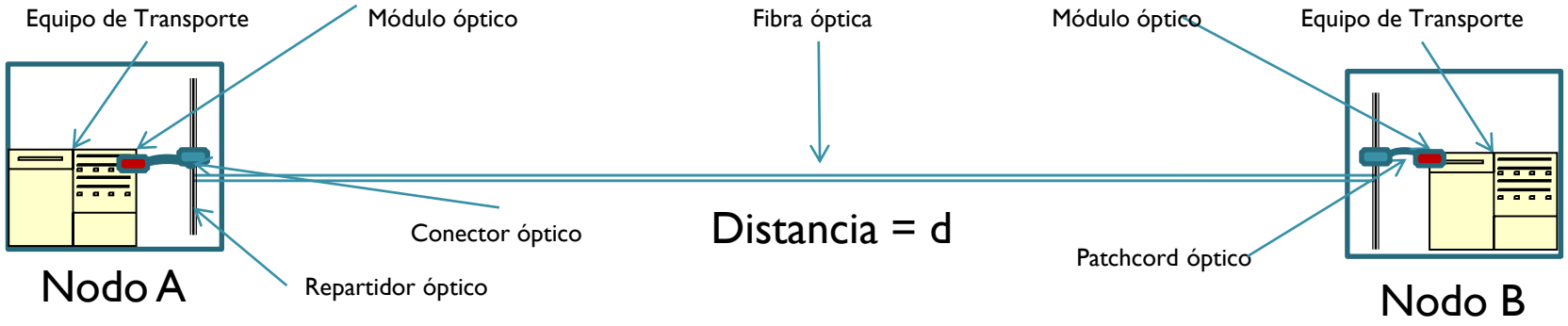
Trabajo Práctico

Caso de Análisis N°1

https://dotcom.moodlecloud.com/

Usuario: nombreapellido (todo minúscula)
Contraseña: nombreapellido (todo minúscula)

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 fusiones ópticos intermedias + 1 fusión en cada repartidor extremo.
- La fibra en ambos extremos será terminada en repartidores ópticos con conectores y acopladores E-2000 cuyas características técnicas se disponen.

Caso de Análisis N°1

- En cada extremo, se utilizarán patchcord ópticos de una longitud de 3 mts (longitud que se desprecia frente al enlace) que adaptarán conectores tipo LC del módulo óptico en un extremo y E-2000 en el otro.

- 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 10 Km acorde a las especificaciones IEEE 802.3ae 10G base LR cuyo características técnicas básicas se entrega a continuación.

- Se destaca también el criterio de margen de envejecimiento que se deberá adoptar.

- En caso de necesidad, se listan los atenuadores que se disponen.

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

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
PTx_{max}	+ 0,5dBm
PTx_{min}	- 8.2 dBm
PRx_{min}	- 15.6. dBm
PRx_{max}	+ 0,5 dBm
Tolerancia Disp. Cromática	70 ps/nm
Máximo DGD	30 ps
Máxima Penalidad	1.2 dB

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
DCmax@1310 nm (1270-1350 nm) (*)	4.4 ps/(nm*Km)
DCmax@1550 nm (3º 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 Máxima x empalme de Fusión	0.15 db
Margen de envejecimiento estimado	1 db

Atenuadores fijos Disponibles	3 db 4 db 6 db

(*) Valores calculados del slide siguiente

Caso de Análisis N°1

- Valores de Dispersión Cromática a partir de hoja de datos del fabricante…

Dispersion

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

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

λ = Operating Wavelength

- Siendo:

λ_0 = 1317 nm (longitud de onda con dispersión nula).

S_0 = 0.088 ps/(nm*Km), (pendiente en cero dispersión).

CePETel Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Caso de Análisis N°1

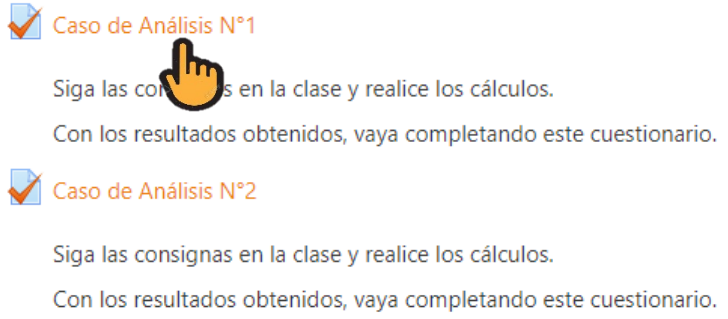
- Tome lápiz y papel y plantee las inecuaciones vistas en este módulo.
- Realice los cálculos y téngalos a mano para volcarlos al cuestionario de respuestas de ejercicios en:

https://dotcom.moodlecloud.com/
Usuario: nombreapellido (minúscula)
Password : nombreapellido (minúscula)

Caso de Análisis N°1

Primera Vista:

Segunda Vista:



Caso de Análisis N°1

Tercera Vista:

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Caso de Análisis N°1

Cuarta Vista:

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Caso de Análisis N°1

- Comenzando por:
  1. ¿Cuantas Inecuaciones debe plantear?.
- Atenuación.
  2. ¿Cuál es la Mínima Atenuación Total del Trayecto óptico expresada en dB?.
  4. ¿Cual es la Mínima Atenuación Tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
  5. Analizados los dos puntos anteriores. ¿Es necesario introducir un atenuador?. ¿De que valor?.
  6. ¿Cual es la Máxima Atenuación Total del trayecto óptico expresada en dB?.
  7. ¿Cual es la Máxima Atenuación tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
- Dispersión Cromática (DC)
  7. ¿Cuál es la dispersión cromática aportada por la fibra óptica expresada en ps/nm?.
  8. ¿Cual es la Dispersión Cromática tolerada por el transceptor expresada en ps/nm?.

Caso de Análisis N°1

- Dispersión de Modo de Polarización (PMD).

9. ¿Cuál es Máximo Retardo aportada por la fibra óptica por el modo de polarización expresada en ps?.
10. ¿Cual es el máximo Retardo de Grupo Diferencial tolerado por el transceptor elegido expresada en ps?.

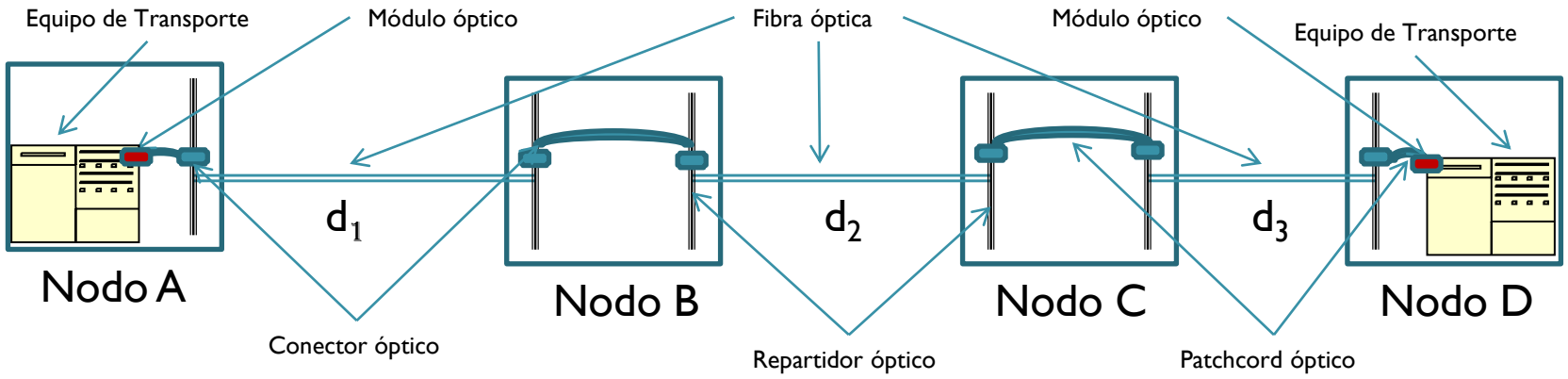
- Con los datos calculados…..

11. ¿Observa alguna limitación?. ¿Cual?.
12. ¿Estima que la performance del enlace será de al menos una tasa de error de bit de 10-12?.

Trabajo Práctico

Caso de Análisis N°2

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.

CePETel
Sindicato de los Profesionales de las Telecomunicaciones
SECRETARÍA TÉCNICA
IPEI
Instituto Profesional de Estudios e Investigación
DOTCOM FORMACIÓN

Caso de Análisis N°2

- 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

- 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 3 mts de longitud que deben despreciase su atenuación.

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 disponibles para su uso.

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
DCmax@1310 nm (1270-1350 nm) (*)	4.4 ps/(nm*Km)
DCmax@1550 nm (3º 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 4 db 6 db**

(*) Valores calculados del caso anterior

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
PTx_{max}	+ 0,5dBm
PTx_{min}	- 8.2 dBm
PRx_{min}	- 15.6. dBm
PRx_{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 en:

https://dotcom.moodlecloud.com/
Usuario: Apellido (minúscula)
Password : Apellido (minúscula)

- Respuestas Caso de Análisis N°2

Caso de Análisis N°2

Primera Vista:

Vista general de curso

Todos (a excepción de los eliminados de la vista)

Nombre del curso

Tarjeta

Miscellaneous

Comunicaciones Opticas Digitales

Segunda Vista:

Caso de Análisis N°1

Siga las consignas en la clase y realice los cálculos.

Con los resultados obtenidos, vaya completando este cuestionario.

Caso de Análisis N°2

Siga las consignas en la clase y realice los cálculos.

Con los resultados obtenidos, vaya completando este cuestionario.

Caso de Análisis N°2

- Comenzando por:

1. En este “Caso de Análisis N°2”, al ser la distancia total del enlace menor al parámetro “alcance” (distancia) de la interfaz, ¿Cree necesario realmente plantear las inecuaciones?.

- Atenuación.

2. ¿Cuál es la Mínima Atenuación Total del Trayecto óptico expresada en dB?.
4. ¿Cual es la Mínima Atenuación Tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.
5. Analizados los dos puntos anteriores. ¿Es necesario introducir un atenuador?. ¿De que valor?.
6. ¿Cual es la Máxima Atenuación Total del trayecto óptico expresada en dB?.
7. ¿Cual es la Máxima Atenuación tolerada por el Transceptor elegido expresada en dB?.

- Dispersión Cromática (DC)

7. ¿Cuál es la dispersión cromática aportada por la fibra óptica expresada en ps/nm?.
8. ¿Cual es la Dispersión Cromática tolerada por el transceptor expresada en ps/nm?.

Caso de Análisis N°2

- Dispersión de Modo de Polarización (PMD).

9. Cuál es Máximo Retardo aportada por la fibra óptica por el modo de polarización expresada en ps?.
10. Cual es el máximo Retardo de Grupo Diferencial tolerado por el transceptor elegido expresada en ps?.

- Con los datos calculados…..

11. ¿Observa alguna limitación?. ¿Cual?.
12. ¿Estima que la performance del enlace será de al menos una tasa de error de bit de 10-12?.

Fin TP

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com