



Módulo IV

Performance de Enlaces Ópticos y Ampliación de Capacidad

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com

Módulo IV

Performance de
Enlaces Ópticos

Ampliación de
Capacidad

Transmisor - Fibra óptica - Receptor

A partir de los parámetros estudiados en los módulos II y III y algunos criterios que deberán tenerse en cuenta, veremos como se combinan estos para verificar que se cumplan una performance de enlace adecuada.

- ¿Que es una performance adecuada?
Tener un enlace óptico que **asegure** una tasa de error de bit adecuada
- ¿Cual es una tasa de error de bit adecuada?

«Es la tasa de error de bit del parámetro “maximum error rate” de la aplicación seleccionada para el enlace».

Transmisor - Fibra óptica - Receptor

- Para ello, se deben cumplir ***una serie de inecuaciones simultáneamente*** con el objeto de:

Contrastar lo tolerado por el conjunto Transmisor / Receptor contra la alteraciones de los parámetros ópticos que produce la fibra y el resto de los elementos pasivos.

De un lado de la inecuación estarán cada una de las características del transceptor óptico y del otro lado como cada una de esas características son alteradas por los elementos pasivos ópticos del enlace en función de la frecuencia y la velocidad de información de la interfaz.

Transmisor - Fibra óptica - Receptor

- Las inecuaciones a cumplir variarán de acuerdo a:
 - Tipo de Fibra a utilizar.
 - El rango de frecuencias (ventana / banda de operación) de transceptor a utilizar
 - Velocidad del canal de información.
- Estas inecuación son relativas a:
 - Atenuación Mínima del enlace.
 - Atenuación Máxima del enlace.
 - Dispersión Modal
 - Dispersión Cromática
 - Dispersión del modo de polarización.

Inecuación de Atenuación

- **Mínima Atenuación**

La suma de todas las atenuaciones **mínimas** conocidas de los elementos pasivos de medio de enlace como la fibra óptica en la banda de operación del diodo emisor de la aplicación seleccionada, y los conectores ópticos deberán ser **Mayor ó Igual** al parámetro “Mínima Atenuación Tolerada” de la aplicación (transceptor óptico).

- Consideraciones a tener en cuenta:

- A. La atenuación en una fibra es dependiente de la frecuencia / longitud de onda. Es por ello que el factor de atenuación de la fibra que debe introducirse en el cálculo deber ser en la banda de operación del transmisor.

Inecuación de Atenuación

- B. Los conectores y patchcord en general entregan información de pérdidas de inserción (atenuación) media y máxima. En los patchcord la información entregada esta relacionada con el conector en el extremo (la atenuación del cable de fibra propiamente dicho es casi despreciable).

Por ende, un criterio válido de elección de mínima atenuación en los accesorios ópticos es tomar el valor medio de pérdidas de inserción de cada conjunto acoplador conector que se presente en el trayecto óptico.

Ahora, volviendo a la definición, en términos matemáticos, la ecuación se transcribe de la siguiente manera....

- Interfaces Single Channel.

$$\mathbf{MinAtt[db]} \leq \sum Att_{Fo @ \text{frec}}[db / km] \times Long[km] + \sum Att_{Emp}[db] + \sum Att_{ConectorMEDIO}[db]$$

Inecuación de Atenuación

- Interfaces Multi Channel

$$\mathbf{MinAtt}_{\text{channel}}[\text{db}] \leq \sum Att_{Fo @ \text{freq}}[\text{db} / \text{km}] \times Long[\text{km}] + \sum Att_{Emp}[\text{db}] + \sum Att_{\text{ConectorMDIO}}$$

Para el caso que la fibra ya este instalada y se mida la atenuación de la misma (incluye fibra y empalmes) a la frecuencia de operación del transmisor (Tx_{Frec})...

- Interfaces Single Channel.

$$\mathbf{MinAtt}[\text{db}] \leq \sum Att_{Fo_medida @ \text{freq}}[\text{db}] + \sum Att_{\text{ConectorMDIO}}$$

- Interfaces Multi Channel

$$\mathbf{MinAtt}_{\text{channel}}[\text{db}] \leq \sum Att_{Fo_medida @ \text{freq}}[\text{db}] + \sum Att_{\text{ConectorMDIO}}$$

Inecuación de Atenuación

- ¿Que sucede si no se cumple la inecuación?. ¿Puedo resolver este problema y evitar que sature el Rx?.
- La respuesta es **SI**. Colocando un atenuador fijo a la entrada del receptor de un valor **mínimo** tal que haga cumplir esta inecuación de atenuación mínima.
- El valor no puede ser excesivamente alto porque puede no hacer cumplir la Inecuación de Atenuación Máxima que se ve a continuación.

De incluirse un Atenuador Fijo, deberá incorporarse también en el siguiente cálculo de Atenuación Máxima

Inecuación de Atenuación

- **Máxima Atenuación**

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

- Consideraciones a tener en cuenta:

- A. La atenuación en una fibra es dependiente de la frecuencia / longitud de onda. Es por ello que el factor de atenuación de la fibra que debe introducirse en el cálculo deber ser de la banda de operación del transmisor.

Inecuación de Atenuación

- B. Al igual que el análisis visto en el punto anterior en los accesorios ópticos, la mayor parte de las pérdidas de inserción se las lleva el acoplamiento y conector óptico propiamente dicho.

En este caso, un criterio válido de elección de máxima atenuación en los accesorios ópticos es tomar el valor máximo de pérdidas de inserción en cada conjunto acoplador conector que se presente en el trayecto óptico.

- C. Si bien no se especifica, la atenuación es un parámetro que varía con el tiempo en las fibras y sus componentes pasivos (como los conectores) ya instalados.

La fibra sufre cambios por los corte que ocurren, aumentando su atenuación por km.

Inecuación de Atenuación

En los conectores el polvo microscópico que se aloja, así como el acción mecánica de conexión y desconexión sucesiva, hacen aumentar las pérdidas de inserción del conector

Es por este motivo que normalmente se toma un “margen de envejecimiento” cuyo criterio de elección es variable con cada proyectista.

Se da a continuación un “criterio” de margen de envejecimiento que, como tal, puede ajustarse haciéndolo mas conservador ó mas audaz.

Inecuación de Atenuación

- Este criterio se divide 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.

El criterio entregado es uno que bien puede modificarse dependiendo de la tasa de cortes que sufra la fibra con el tiempo. Por ejemplo dentro de un edificio, la probabilidad de corte de fibra es muy bajo con lo cual el margen de envejecimiento podría ser nulo llegado el caso.

Inecuación de Atenuación

Ahora, volviendo a la definición, en términos matemáticos, la ecuación se transcribe de la siguiente manera.

- Interfaces Single Channel.

$$\mathbf{MaxAtt[db]} \geq \sum Att_{Fo @ freq}[db/km] \times Long[km] + \sum Att_{Emp}[db] + \sum Att_{ConectorMAX}[db] + Mar_Env[db]$$

- Interfaces Multi Channel

$$\mathbf{MaxAtt_{channel}[db]} \geq \sum Att_{Fo @ freq}[db/km] \times Long[km] + \sum Att_{Emp}[db] + \sum Att_{ConectorMAX}[db] + Mar_Env[db]$$

Inecuación de Atenuación

Para el caso que la fibra ya este instalada y se mida la atenuación de la misma (incluye fibra y empalmes) a la frecuencia de operación del transmisor ($T_{x\text{Frec}}$)

- Interfaces Single Channel.

$$\mathbf{MaxAtt[db]} \geq \sum Att_{Fo_medida @ \text{frec}}[db] + \sum Att_{ConectoMAX}[db] + Mar_Env[db]$$

- Interfaces Multi Channel

$$\mathbf{MaxAtt}_{\text{channel}}[db] \geq \sum Att_{Fo_medida @ \text{frec}}[db] + \sum Att_{ConectorMAX}[db] + Mar_Env[db]$$

Recordar que si en el paso anterior (Atenuación Mínima) se incorporó un atenuador fijo, éste deberá sumarse al segundo miembro de la inecuación de Atenuación Máxima.

Inecuación de Dispersión Modal

- 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.

En términos matemáticos, lo mismo se transcribe de la siguiente manera.

$$\mathbf{Long}_{\mathbf{Max}}[\mathbf{Km}] \leq \frac{\mathit{ModalBandwide}[\mathit{MHz} \times \mathit{Km}]}{\mathit{Veloc}_{\mathit{channel}}[\mathit{MHz}]}$$

Inecuación de Dispersión Cromática

- Dispersión Cromática.

La dispersión Cromática introducida 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” de la aplicación seleccionada.

En términos matemáticos, lo mismo se transcribe de la siguiente manera.

$$DC_{Max} [ps/nm] \geq DC_{FO} @ freq [ps/nm*km] \times Long [Km]$$

En caso de ser una interfaz multi channel, la máxima dispersión cromática tolerada será de cada canal que la compone.

Este parámetro no sufre alteración por envejecimiento.

Inecuación de Dispersión Modo de Polarización

- Dispersión de Modo 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” de la aplicación seleccionada.

Tenemos por un lado el **DGD medio** aportado por la Fibra óptica (modulo II) con una distribución estadística de Maxwell y por otro lado el **DGD máximo** soportada por la interfaz de la aplicación que es función como vimos de la velocidad del canal de la interfaz (módulo III).

Inecuación de Dispersión Modo de Polarización

Siendo el PMD de la fibra un proceso estadístico, la relación entre el **DGD pico** al **DGD Average ó medio** de **3**, otorga, en una distribución de Maxwell, una probabilidad bastante baja de $4,2 \times 10^{-5}$ de excederse en su valor máximo.

En el caso que sea un tendido nuevo de fibra, como se vio en el Módulo II, el fabricante asegura un valor medio de PMD dado en pseg / Km^{1/2} que, multiplicado por la raíz cuadrada en Km del enlace nos dará el valor medio del DGD para comparar con DGD max. tolerado por la interfaz.

En términos matemáticos, lo mismo se transcribe de la siguiente manera.

$$\mathbf{DGD}_{\max}[\mathbf{ps}] \geq 3 \times \sqrt{\sum \left[\mathbf{PMD}_n \left[\frac{\mathbf{ps}}{\sqrt{\mathbf{Km}}} \right] \times \sqrt{\mathbf{Long}_n[\mathbf{km}]} \right]^2}$$

Inecuación de Dispersión Modo de Polarización

En caso que la fibra este tendida durante un tiempo y haya sufrido el stress de estiramiento por cortes, ya no serán válidos los datos entregados por el fabricante por lo cual serán necesario medirla con un instrumento para tal fin, entregando este un **valor medio de DGD** en pseg de cada sección medida.

En términos matemáticos, lo mismo se transcribe de la siguiente manera.

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

Resumen de Inecuaciones a plantear

- Hasta aquí hemos visto la inecuaciones relativas a Atenuación y las distintas dispersiones .
- Durante el curso hemos dado algunas pistas que por ejemplo la dispersión Modal solo aplica a las fibras MM ó que la tolerancia al PMD, que es función del periodo de la señal, tiene sentido para velocidades a partir de los 10 Gb/s.
- Es por eso que en la tabla siguiente, se lista las inecuaciones a plantear en función del tipo de fibra y las velocidades de informaciones () , las cuales se deben cumplir la totalidad para asegurarnos que el enlace cumpla los requisitos de calidad.
- En las celdas que figura NA, significa que el enlace no va a limitar por ese parámetro.

Tabla Resumen de Inecuaciones a plantear

Fibra	Velocidad Interfaz	Atenuación (Min / Max)	Dispersión Modal	Dispersión Cromática	Dispersión Modo Polarización
MM	Baja (1Gb/s)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	NA
	Media (10Gb/s)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	NA
	Alta (100 Gb/s)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	NA
SM	Baja (1Gb/s)	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	<input checked="" type="checkbox"/>	NA
	Media (10Gb/s)	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Alta (100 Gb/s)	<input checked="" type="checkbox"/>	NA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Módulo IV

Performance de
Enlaces Ópticos

Ampliación de
Capacidad

Ampliación de Capacidad

- En este capítulo, veremos distintas variantes que existen para ampliar la capacidad de un dado enlace.
- La mas simple y sencilla es, si se tiene una interfaz multi channel con módulos QSFP+ por ejemplo y, existen canales sin habilitar, la ampliación se puede lograr sencillamente habilitando un nuevo canal de 10 Gb/s
- En este caso, como el calculo de enlace fue realizado a nivel de canal, la habilitación del nuevo canal no altera el budget óptico ya calculado.
- En general la ampliación de capacidad no es tan sencilla realizar como el caso presentado.

Ampliación de Capacidad

- Los métodos mas comunes de ampliación de capacidad son dos:
 - Ampliación de la velocidad de información de la interfaz.
 - Introducir tecnología WDM (Wavelength Division Multiplexing).
- **Ampliación de Velocidad.**
 - Dependiendo de la velocidad del enlace presente, la ampliación de velocidad requerirá en primer caso ver la disponibilidad del equipo transmisor de datos si soporta interfaces de mayor velocidad a las existente.

Ampliación de Capacidad

- a. Conociendo los parámetros de la fibra que ya disponemos del enlace original, será volver a realizar el cálculo del budget óptico con distintos módulos ópticos de la nueva velocidad, planteando las inecuaciones vistas en el apartado anterior.
- b. Como puede observarse este método de ampliación de capacidad tiene algunas limitaciones en la magnitud de la ampliación (saltar de una velocidad a otra) y, por otro lado, es fuertemente dependiente de la longitud del enlace y el tipo de fibra existente.

De no ser factible la ampliación, de capacidad por este método, solo quedará como opción realizarla con tecnologías WDM.

Ampliación de Capacidad

- **Tecnología WDM.**

- Incluir esta tecnología en un enlace significa introducir un nuevo equipamiento entre el equipo de transmisión que veníamos hablando (un Router de L3, Switch L2 ó SDH L1) y la fibra óptica.
- Este nuevo equipamiento está compuesto de tres partes fundamentales:
 - Multiplexación por longitud de onda (principio visto en las interfaces multi channel),
 - Mejoras de performance de las interfaces ópticas.
 - Utilización de amplificadores ópticos.
- Dependiendo de la cantidad de canales que se deseen incluir y el alcance que se necesita, dentro de esta tecnología existen dos modelos a saber:

Ampliación de Capacidad

- **CWDM** (Coarse Wavelength Division Multiplexer).
Típicamente hasta 16 canales ópticos de 2,5 a 10 Gb/s y mediano alcance.
- **DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexer)
Típicamente hasta 96 canales ópticos de 10 a 100 Gb/s y largo alcance.

Todos los principios físicos vistos hasta aquí son de aplicación para entender esta tecnología pero al introducirse toda esta energía en la fibra y conseguir largos alcances, se introducen nuevos principios físicos que forman parte del curso específico WDM.



Fin Módulo IV

Ing. Daniel Torrabadella
formacion.dotcom@gmail.com