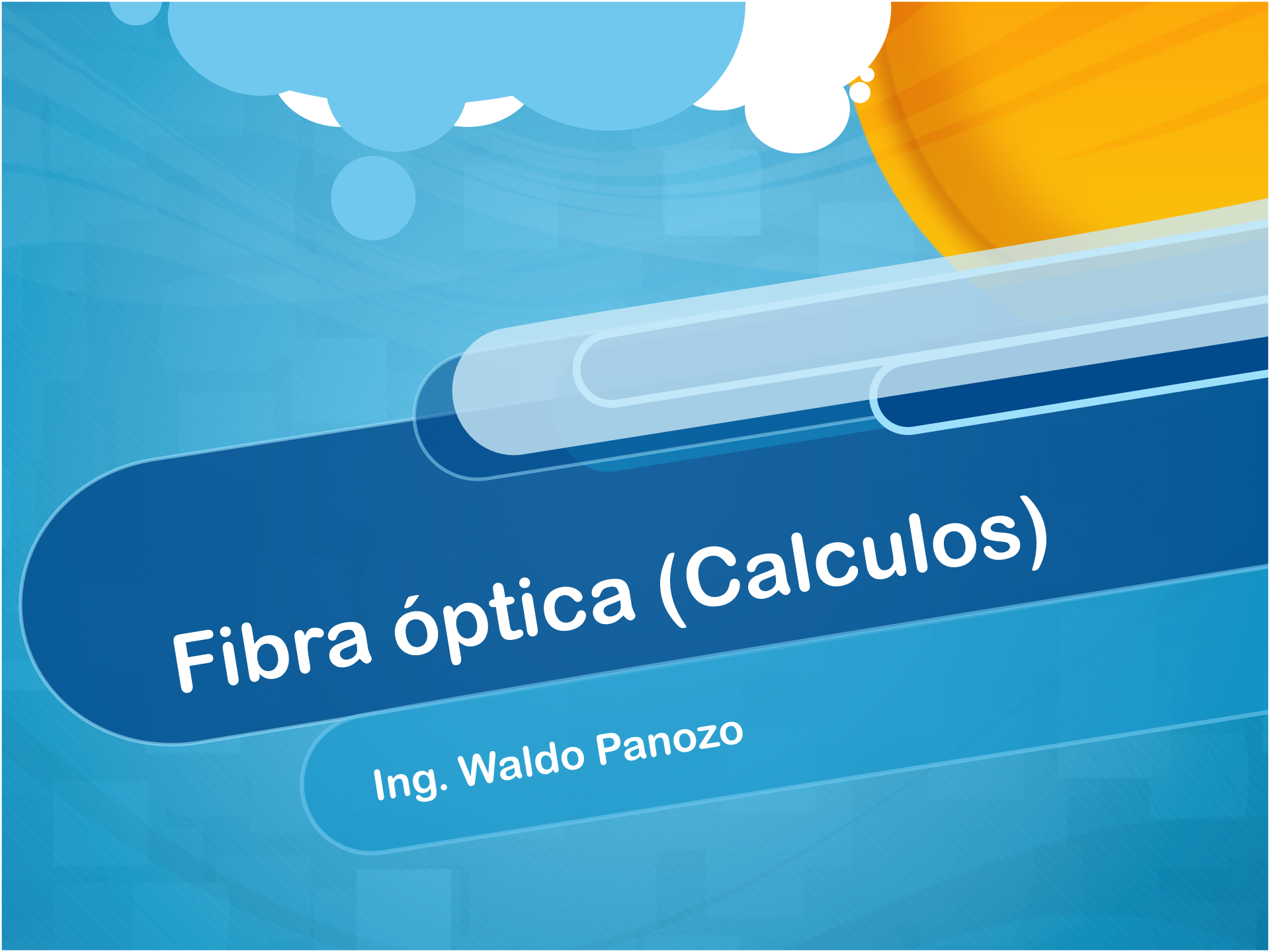




Fibra óptica (Cálculos)

Ing. Waldo Panozo



Cálculos de enlace - Requerimientos

- **Ancho de banda:** La fibra óptica proporciona un ancho de banda significativamente mayor que los cables de pares (UTP / STP) y el Coaxial. Aunque en la actualidad se están utilizando velocidades de 1,7 Gbps en la redes públicas, la utilización de frecuencias más altas (luz visible) permitirá alcanzar los 39 Gbps. El ancho de banda de la fibra óptica permite transmitir datos, voz, vídeo, etc.
- **Distancia:** La baja atenuación de la señal óptica permite realizar tendidos de fibra óptica sin necesidad de repetidores.
- **Integridad de datos:** En condiciones normales, una transmisión de datos por fibra óptica tiene una frecuencia de errores o BER (Bit Error Rate) menor de 10^{-11} . Esta característica permite que los protocolos de comunicaciones de alto nivel, no necesiten implantar procedimientos de corrección de errores por lo que se acelera la velocidad de transferencia.



Cálculos de enlace - Requerimientos

- **Duración:** La fibra óptica es resistente a la corrosión y a las altas temperaturas. Gracias a la protección de la envoltura es capaz de soportar esfuerzos elevados de tensión en la instalación.
- **Seguridad:** Debido a que la fibra óptica no produce radiación electromagnética, es resistente a las acciones intrusivas de escucha. Para acceder a la señal que circula en la fibra es necesario partirla, con lo cual no hay transmisión durante este proceso, y puede por tanto detectarse.
- La fibra también es inmune a los efectos electromagnéticos externos, por lo que se puede utilizar en ambientes industriales sin necesidad de protección especial.



Cálculos de enlace - Requerimientos

- Capacidad de enlace, expresada en velocidad de bits (R) si el enlace es digital o en ancho de banda (BW) si el enlace es analógico.
- Calidad del enlace, expresada a través de la tasa de error permitida (BER) para el enlace digital o la razón señal a ruido (S/N) si se trata de un enlace analógico.
- Longitud del enlace expresada en kilómetros.



Cálculos de enlace - Limitaciones

- La atenuación debida a la absorción por impurezas en la fibra y sobre todo al fenómeno de esparcimiento de Rayleigh.
- La pérdida en potencia en los conectores y empalmes del enlace.
- La dispersión temporal (modal en fibras multimodo y cromática en la fibra monomodo), que produce el ensanchamiento de los pulsos y la deformación de la señal analógica.



Cálculos de enlace – Limitaciones casos esp.

- Niveles de ruido introducidos por los amplificadores ópticos cuando corresponda.
- Además en los enlaces WDM aparecen otras limitaciones que se deben tomar en cuenta: debido a los fenómenos no lineales en la propagación de las componentes de luz en la fibra aparecen componentes parásitas. Este fenómeno es comúnmente llamado FWM (Four Wave Mixing). En este tipo de enlace es preciso limitar los niveles de WDM a valores adecuados y esto se consigue clásicamente con el uso de fibras NZDSF (Non Zero Dispersión Shifted Fiber). Estas fibras presentan en la tercera ventana óptica una característica de dispersión adecuada para minimizar los efectos del WDM.



Cálculos de enlace – Recomendaciones

- El diseño de un enlace incluye dos partes básicas: una para garantizar que la potencia de recepción será adecuada y la otra que la distorsión de propagación en la fibra no será perjudicial.



Cálculos de enlace – Recepción

- Consiste en estudiar la potencia óptica disponible en el emisor en relación con las diferentes pérdidas, márgenes y penalidades, con el objeto de asegurar que la potencia que llegará al detector, aún en el peor caso, permitirá satisfacer los objetivos de calidad impuestos por el usuario de acuerdo a las normas internacionales.



Cálculos de enlace – Recepción

- Los conectores para fibra óptica permiten realizar conexiones no permanentes pero tienen la desventaja de dar una pérdida bastante importante, del orden de 0.5 a 1.0 dB por conector. Al contrario, un empalme por fusión de dos fibras es una conexión permanente, con una pérdida más baja, del orden de 0.05 a 0.1 dB en fibras monomodo



Cálculos de enlace – Recepción

- La atenuación (en dB/km) a lo largo de una fibra depende de la longitud de onda de la fuente de luz usada (LED o diodo Láser). En las tres ventanas ópticas usadas de 850, 1300 y 1550 nm, la atenuación es diferente, siendo mínima en la tercera ventana. Típicamente a 1300 nm se tiene una atenuación entre 0.4 a 0.5 dB/km, mientras que a 1550 nm la atenuación es del orden de 0.2 a 0.3 dB/km.



Cálculos de enlace – Recepción

- Es interesante recalcar la diferencia muy grande entre la atenuación en los sistemas ópticos y en los enlaces con cables metálicos. En estos últimos los niveles de atenuación son mucho más altos y además crecen con la frecuencia: para una frecuencia de 500 MHz por ejemplo, un coaxial puede tener una atenuación superior a los 50 dB/km, según sus características de fabricación, o sea, una atenuación en dB/km 250 veces mayor que un enlace de fibra a 1550 nm.

Análisis de potencia

$$Pr = Pt - Af * L - Nc * Ac - Ne * Ae$$

Donde:

- Pr : Potencia en entrada de receptor óptico en dBm.
- Pt : Potencia acoplada en entrada de la fibra en dBm.
- Nc : Número de conectores entre emisor y receptor.
- Ac : Pérdida por conector en dB.
- Ae : Pérdida por empalme en dB.
- Ne : Número de empalmes en el enlace considerado.
- Af : Atenuación en dB/km en la fibra.
- L : Largo del enlace entre emisor y receptor en km.



Algunas recomendaciones

- En caso de que la potencia que llega al detector sea excesiva, de acuerdo a lo establecido por el fabricante del detector (normalmente entre -10 y -12 dBm), será necesario colocar un atenuador óptico en el enlace. Habitualmente se instala acoplado a algunos de los conectores que van a las tarjetas del equipo.
- La expresión anterior sirve para estimar la potencia en recepción. Sin embargo, para el balance de potencia es necesario incluir además márgenes y penalidades, como se analiza a continuación.



Márgenes del sistema

- ◊ Margen del cable óptico
- ◊ Margen de equipos
- ◊ Margen de seguridad



Penalidades

- Penalidad por reflexión: Toma en cuenta la pérdida debido a la reflexión en el interfaz fibra – fotodiodo de recepción. Considerada no mayor de 0.5 dB.
- Penalidad de dispersión: Degradación en sensibilidad de recepción debida a la deformación de los pulsos por dispersión. Es lógico considerar una penalidad en potencia en presencia de distorsión de propagación ya que ésta hace que el diagrama de ojo en recepción sea más cerrado.

Penalidades

$$P_d = 3.86 * (D_c * W * L * R)^2 \quad (\text{dB})$$

D_c : Coeficiente de dispersión cromática en ps/nm*km

W : Ancho espectral de la fuente de luz en nm a -3 dB.

L : Longitud del enlace

R : Velocidad de bits (Bit rate) en bits/seg.

Requisito de potencia mínima

$$P_t - P_{rmin} \geq A_f * L + N_c * A_c + N_e * A_e + M_r + P_n$$

Donde :

P_{rmin}	:	Sensibilidad del receptor.
P_t	:	Potencia de emisión.
N_c	:	Número de conectores.
A_c	:	Pérdida por conector.
N_e	:	Número de empalmes.
A_e	:	Pérdida por empalme.
A_f	:	Atenuación en dB/km en la fibra.
L	:	Largo de enlace.
M_r	:	Margen del sistema.
P_n	:	Penalizaciones



Dispersión cromática

- En el caso de enlaces con fibra monomodo, los pulsos de luz propagándose a lo largo de la fibra experimentan una deformación debida al ancho de espectral de la señal óptica. Este fenómeno se llama **dispersión cromática** y es en realidad la combinación de la dispersión material y de la dispersión de guía de onda.



Ensanchamiento cromático

$$E_c = D_c \times W \times L$$

D_c: Coeficiente de dispersión cromática en ps/ (nm.Km')

W: Ancho espectral de la fuente de luz a -3dB



Condición de dispersión

- El valor de η está entre 0 y 1. En transmisión con pulsos NRZ, se considera aceptable un valor de 0,75. Sin embargo, uno de los criterios más usados es considerar η igual a 0.5 (50%).

$$D_C \times W \times L \times R < \eta$$



Parámetro de dispersión

- Para los enlaces SDH estándares el formato óptico es por norma el NRZ. Es entonces sencillo, si se conoce la velocidad R digital, agrupar en un solo parámetro los elementos η , R , W con:

$$\text{Parámetro de dispersión} = \eta / (R.W)$$



Dispersión modal en monomodo

- coeficiente “ B_0 ”, que representa el ancho de banda de la fibra para un enlace de 1 Km

$$B_w = B_0 / L$$

Dispersión modal en monomodo

$$E_M = 0,44 \times L / B_0$$

- Donde:
- E_M : en GHz x Km
- L : En Km
- B_0 : En ns
- B_0 es del orden de algunos GHz x Km con fibras multimodo a índice gradual pero para fibras multimodo sencillas a índice escalonado B_0 es inferior a los 100 MHz.Km. Este ensanchamiento modal es generalmente alto.

The background is a vibrant blue with a subtle geometric pattern of squares and lines. In the top right corner, a large, bright yellow sun is partially visible. To its left, there are stylized white clouds. A light blue pen with a silver clip is positioned diagonally across the middle of the image. Below the pen, there are several horizontal, rounded rectangular bands in different shades of blue. The word "GRACIAS" is written in white, bold, uppercase letters on the darkest blue band.

GRACIAS